

Technická univerzita v Liberci

Hálkova 6, 461 17 LIBEREC 1

Katedra elektrotechniky a elektromechanických systémů

ANOTACE

FAKULTA MECHATRONIKY A MEZIOBOROVÝCH INŽENÝRSKÝCH STUDIÍ

Studijní program: M 2612 – Elektrotechnika a informatika

Obor: 3902T005 – Automatické řízení a inženýrská informatika

Diplomant: David Honců

Téma: Automatizovaný systém měření křivek svítivosti zářivek

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Niesig

Konzultant: Doc. Ing. Aleš Richter, CSc.

Cílem této diplomové práce je jednoduchý software, který umožní uživateli základní práci s goniofotometrem firmy ELKOVO ČEPELÍK.

Uživatel získá možnost jednoduché obsluhy přístroje v grafickém prostředí systému Microsoft Windows, tedy v prostředí, na které je běžný uživatel zvyklý a umožňuje intuitivní práci téměř bez přípravy obsluhy.

Tento software je schopný naměřit potřebná data tj. svítivost zářivkového svítidla do prostoru a zakreslit tzv. křivky svítivosti v jednotlivých měřených rovinách svítidla, data uložit ve speciálním tvaru do databáze svítidel v programu Microsoft EXCEL, kde jsou potom tato data využita pro výpočty osvětlení místností programem WILS, a ihned vytvořit a vytisknout z naměřených dat katalogový list k měřenému svítidlu se základním popisem, tabulkou naměřených hodnot a obrázkem naměřených křivek.

Technická univerzita v Liberci

Hálkova 6, 461 17 LIBEREC 1

Katedra elektrotechniky a elektromechanických systémů

ANNOTATION

FACULTY OF MECHATRONICS AND INTERDISCIPLINARY ENGINEERING
STUDIES

Specialization: M 2612 – Electrotechnical engineering and informatics
Focusing: 3902T005 – Automatic control and engineering informatics

Author: David Honců

Subject: Computerized System of Measuring the Luminosity Curves
of Fluorescent Light Sources

Work leader: Ing. Petr Niesig
Consulter: Doc. Ing. Aleš Richter, CSc.

The purpose of this dissertation is to create simple computer software for the operating system Microsoft Windows. This system provides basic measurement with a goniophotometer manufactured by ELKOVO ČEPELÍK. Basic operations with the goniophotometer in a graphic background of Microsoft Windows will be possible.

This system is able to measure the luminous intensity of emissions into the space illuminated by a fluorescent lamp. It will provide luminosity curves in particular measurable planes of the illuminated space. Afterwards this data is saved in a special data format into a database of lamps using a Microsoft Excel program. This can be used for the calculation of illumination in rooms using a WILS program. The catalogue record of the measured light source is directly created and printed out from this measured data and contains a basic description of source, a measured data table and a picture of the measured luminosity curves.

Obsah:

| | |
|---|----|
| Seznam použitých zkratk | 8 |
| Seznam použitých symbolů | 8 |
| 1.Úvod | 9 |
| 2.Teoretická část | 10 |
| 2.1 Veličiny týkající se měření křivek svítivosti | 10 |
| 2.1.1 Svítivost | 10 |
| 2.1.2 Křivky svítivosti | 12 |
| 2.1.3 Světelný tok | 16 |
| 2.1.4 Osvětlenost | 17 |
| 2.1.5 Světelná účinnost svítidel | 18 |
| 2.1.6 Výpočet světelného toku svítidla | 19 |
| 2.2 Měření | 22 |
| 2.2.1 Seznámení s goniofotometry | 22 |
| 2.2.2 Druhy goniofotometrů | 23 |
| 2.2.3 Nežádoucí vlastnosti zářivkových zdrojů mající vliv na měření křivek svítivosti | 25 |
| 2.2.4 Měření křivek svítivosti zářivkových svítidel | 28 |
| 2.2.5 Měření osvětlenosti | 32 |
| 3.Praktická část | 35 |
| 3.1 Popis měřicí soustavy | 36 |
| 3.1.1 Krokový motor Z42QN147 | 37 |
| 3.1.2 Univerzální měřicí karta ADC1216A | 38 |
| 3.1.3 Čidlo goniofotometru | 38 |
| 3.2 Návrh automatického měření | 40 |
| 3.2.1 Práce s krokovým motorem | 40 |
| 3.2.2 Práce s fotočidlem | 46 |
| 3.2.3 Měření | 49 |
| 3.2.4 Programová komunikace s aplikací Excel | 50 |
| 3.2.5 Vlastní aplikace | 51 |
| 3.2.6 Ověření a uvedení do praxe | 53 |
| 4. Závěr | 56 |

| | |
|--------------------------|----|
| Použitá literatura | 58 |
| Přílohy | 59 |

Seznam použitých zkratk:

| | |
|------------|--|
| <i>PC</i> | (Personal Computer) - Osobní počítač |
| <i>A/D</i> | Převodník analogového signálu na digitální |
| <i>I/U</i> | Převodník proudu na napětí |
| <i>HCT</i> | (High Speed CMOS Technology) - Technologie CMOS s vysokou rychlostí |
| <i>TTL</i> | (Transistor Transistor Logic) - Technologie integrovaných obvodů |
| <i>SI</i> | (Système International d'Unités) - Mezinárodní soustava jednotek |
| <i>OLE</i> | (Object Linking and Embedding) - Metoda spojování a vkládání objektů |
| <i>COM</i> | (Component Object Model) - Komponentový objektový model |
| <i>ČSN</i> | (Česká Státní Norma) - Česká technická norma |
| <i>CAD</i> | (Computer Aided Design) - Počítačem podporovaný návrh |

Seznam použitých symbolů:

| | |
|--------------------------------------|---|
| Φ | Světelný tok |
| Φ_e | Zářivý tok |
| Ω | Prostorový úhel |
| $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ | Úhly |
| λ | Vlnová délka monochromatického záření |
| η | Světelná účinnost |
| $A-\alpha, B-\beta, C-\gamma$ | Soustavy fotometrických rovin |
| I | Svítivost |
| E | Osvětlenost |
| U | Napětí |
| A | Plocha |
| K | Světelná účinnost monochromatického záření normálního fotometrického pozorovatele |
| l | Délka |
| f | Charakteristická funkce svítivosti |

1.Úvod

Tato diplomová práce byla zadána firmou ELKOVO ČEPELÍK, která se zabývá výrobou zářivkových svítidel zhruba od roku 1990. Je jednou z firem, která provádí veškeré operace při výrobě svítidel sama, je tedy schopna pružně reagovat na potřeby trhu a jednotlivých zákazníků se speciálními požadavky na svítidla.

Pro měření křivek svítivosti, což je nejpodstatnější charakteristika svítidla, udávající prostorové rozložení světelného toku, si firma svépomocí zkonstruovala vlastní měřicí přístroj, tzv. GONIOFOTOMETR. Náplní této diplomové práce je vytvoření jednoduchého ovládacího software pro potřeby firmy k obsluze tohoto goniofotometru a měření potřebných charakteristik vyráběných svítidel.

Software má být vytvořen pro počítače typu PC s operačním systémem Windows, který nabízí bohaté a uživatelsky přívětivé grafické rozhraní.

Pro tvorbu samotného programu bylo možno použít několik různých programovacích jazyků. Po rozboru možností jsem se přiklonil pro programovací jazyk DELPHI od firmy Borland, protože tento jazyk je poměrně srozumitelný a nabízí dostatečné množství funkcí pro práci s periferiemi a je objektově orientovanou nadstavbou programovacího jazyka Borland PASCAL, který obsluha zná. Dále pro tento programovací jazyk byla vytvořena knihovna funkcí přidavné měřící karty osobního počítače, který zajišťuje měření hodnot svítivosti svítidla.

2. Teoretická část

V této části je provedeno seznámení s veličinami, přístroji a postupy, které se dotýkají problematiky fotometrie, fotometrických veličin a měření fotometrických veličin.

2.1 Veličiny týkající se měření křivek svítivosti

Tato kapitola obsahuje seznámení s fotometrickými veličinami, které jsou základním stavebním kamenem pro osvětlování a týkají se měření křivek svítivosti.

2.1.1 Svítivost

Pokud zdroj nebo svítidlo nevyzařuje světelný tok do všech směrů v prostoru stejnoměrně, je třeba pro výpočet osvětlenosti znát hodnotu světelného toku, který vyzařuje dané svítidlo či zdroj do daného směru, ve kterém chceme osvětlenost počítat. Proto byla zavedena veličina svítivost.

Základní vztah pro výpočet svítivosti:

$$I(\gamma) = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad [\text{cd; lm, sr}] \quad (2.1)$$

$I(\gamma)$ - Svítivost přechtená pod úhlem γ od vztažného směru

$d\phi$ - Světelný tok vyzářený do prostorového úhlu $d\Omega$

$d\Omega$ - Prostorový úhel jehož osa leží ve směru určeném úhlem γ

Jednotka svítivosti 1 cd (kandela) je základní jednotkou soustavy SI.

Definice: 1 cd je kolmá svítivost $1/60\text{cm}^2$ povrchu absolutně černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny 2046,5 K za tlaku 101324,72 Pa.

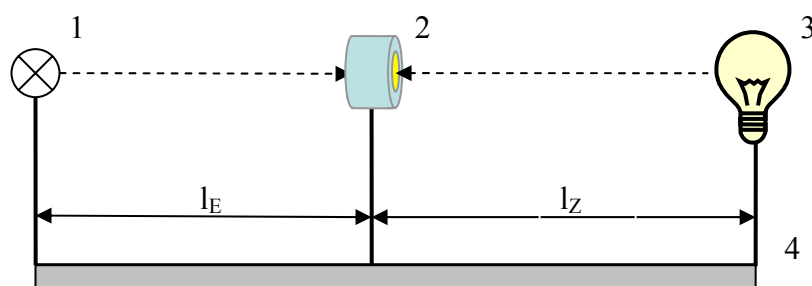
Svítivost je definována pouze pro zdroje, které mají zanedbatelné rozměry v poměru k jejich vzdálenosti od osvětlovacího místa, tj. pro bodové zdroje.

Svítivost se neměří přímo, ale převádí se na měření jasu nebo na měření osvětlenosti. Při subjektivním měření se porovnává svítivost měřeného zdroje s normálem svítivosti nebo se měří substituční metodou s použitím srovnávacího

světelného zdroje. Při objektivním měření se osvětluje postupně fyzikální čidlo nejdříve etalonem svítivosti a následně měřeným zdrojem.

Měření svítivosti na fotometrické lavici s fotometrem:

Nejdříve je nutno posunem fotometru nebo jednoho zdroje vyrovnat osvětlenost obou stran fotometru a následně se svítivost proměřovaného zdroje vypočítá ze známé svítivosti ETALONU a vzdáleností l_E a l_Z uvedených na obrázku 2.1.



Obr.2.1 Fotometrická lavice

- 1 - Etalon svítivosti
- 2 - Fotometr
- 3 - Měřený zdroj
- 4 - Základna

Měřenou svítivost získáme ze vztahu:

$$I_Z = \frac{l_Z^2}{l_E^2} \cdot I_E \quad [\text{cd; m, m, cd}] \quad (2.2)$$

I_Z - Hledaná svítivost

I_E - Známá svítivost ETALONU

l_Z - Vzdálenost proměřovaného zdroje od fotometru

l_E - Vzdálenost ETALONU od fotometru

2.1.2 Křivky svítivosti

Vezmeme-li svítivost v daném směru jako radiusvektor, tak v celém prostoru vznikne fotometrická plocha svítidla nebo zdroje. Křivka svítivosti je řez touto plochou, který prochází fotometrickým středem. Křivka svítivosti svítidla nebo zdroje udává závislost svítivosti na úhlu pohledu v jedné rovině řezu, který prochází středem zdroje nebo svítidla.

U svítidel s rotačně symetrickým rozložením světelného toku nám stačí znát jen jeden řez rovinou a ta nám popisuje rozložení svítivosti do celého prostoru.

Křivky svítivosti rotačně symetrického svítidla lze obecně popsat vztahem:

$$I(\gamma) = I_0 \cdot f_I(\gamma) \quad [\text{cd}; \text{cd}, -] \quad (2.3)$$

I_0 - Svítivost uvažovaného zdroje ve vztahném směru tj. obvykle ve směru kolmém k hlavní vyzařovací ploše svítidla

$I(\gamma)$ - Svítivost přečtená pod úhlem γ od vztahného směru

$f_I(\gamma)$ - Charakteristická funkce svítivosti. Popisuje matematicky křivku svítivosti. Nejčastěji se používá funkcí $\cos^n(\gamma)$ kde $n = 1, 2, 3, \dots$

Abychom v případě svítidla s rotačně nesymetrickým rozložením světelného toku popsali svítivost v celém prostoru, musíme provést více řezů prostorem tzn. musíme naměřit více křivek svítivosti v rovinách, které popisují dané svítidlo nebo zdroj.

Křivky svítivosti rotačně nesymetrického svítidla lze obecně popsat vztahem:

$$I(\gamma, \xi) = I_0 \cdot f_I(\gamma, \xi) \quad [\text{cd}; \text{cd}, -] \quad (2.4)$$

I_0 - Svítivost uvažovaného zdroje ve vztahném směru tj. obvykle ve směru kolmém k hlavní vyzařovací ploše svítidla

γ, ξ - Úhly definující pozici v prostoru, např. úhly poledníků a rovnoběžek

$I(\gamma, \xi)$ - Svítivost bodu určeného v prostoru pomocí dvou uhlů γ a ξ od vztahného směru

$f_I(\gamma, \xi)$ - Charakteristická funkce svítivosti

Aby se sjednotilo měření křivek svítivosti, byly zvoleny soustavy fotometrických rovin A- α , B- β , C- γ , stanovené normou ČSN EN 13032-1 (Měření a způsob uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel). Z těchto soustav se nejčastěji používá soustava C- γ . Systém je zvolen tak, že rotační osa fotometrické soustavy A je zvolena podélně se svítidlem soustavy, B příčně se svítidlem a C kde osa rotace prochází skrz svítidlo. Soustavy fotometrických rovin jsou zobrazeny na obrázku 2.2.

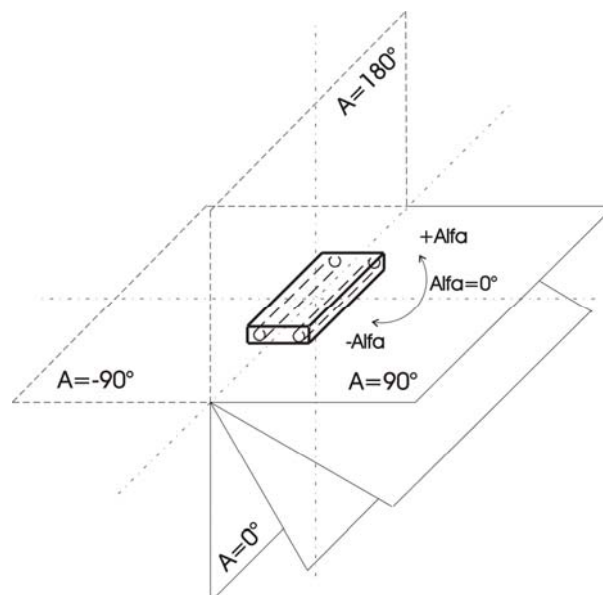
Tab2.1 Tabulka převodů mezi jednotlivými fotometrickými soustavami:

| Změna soustavy: | | Konverze: | |
|-----------------|-------------|---|--|
| z | na | rovina | úhel |
| A- α | B- β | $\text{tg } B = \text{tg } \alpha / \cos A$ | $\sin \beta = \sin A \cdot \cos \alpha$ |
| A- α | C- γ | $\text{tg } C = \text{tg } \alpha / \sin A$ | $\cos \gamma = \cos A \cdot \cos \alpha$ |
| B- β | A- α | $\text{tg } A = \text{tg } \beta / \cos B$ | $\sin \alpha = \sin B \cdot \cos \beta$ |
| B- β | C- γ | $\text{tg } C = \sin B / \text{tg } \beta$ | $\cos \gamma = \cos B \cdot \cos \beta$ |
| C- γ | A- α | $\text{tg } A = \cos C \cdot \text{tg } \gamma$ | $\sin \alpha = \cos C \cdot \sin \gamma$ |
| C- γ | B- β | $\text{tg } B = \sin C \cdot \text{tg } \gamma$ | $\sin \beta = \cos C \cdot \sin \gamma$ |

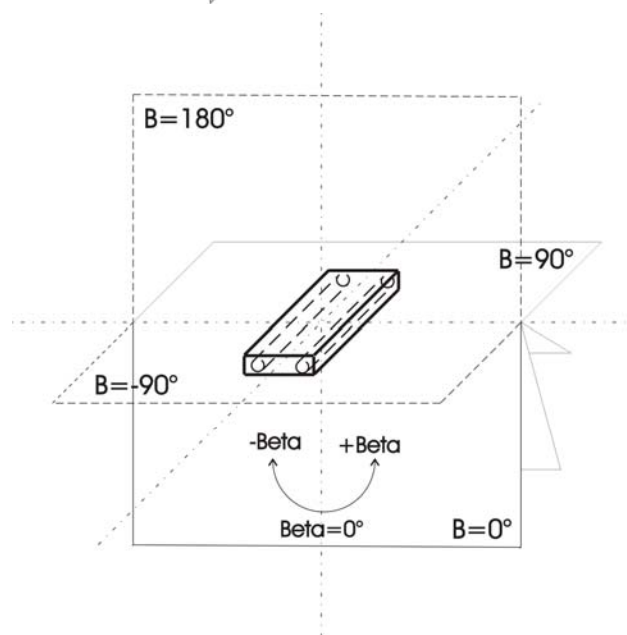
Ve světelné technice se začínají uplatňovat stále více svítidla s rozličnými asymetrickými laloky na křivce svítivosti. Tímto nastává problém jak vhodně popsat tuto nesymetrickou fotometrickou plochu pro následné výpočty hladin osvětlenosti, jasů a ostatních integrálních charakteristik. Proto je potřeba pro měření vhodně zvolit množství řezů a vhodnou soustavu rovin.

Pokud je pro svítidlo možné použít různé zdroje, které mají různou hodnotu světelného toku používá se pro křivky svítivosti svítidla normovaná svítivost vzhledem k světelnému toku. Jako norma se používá světelný tok 1klm. V praxi to znamená, že křivka svítivosti je v hodnotách, které jsou pro zdroj se světelným tokem 1klm. To umožňuje snadný přepočet křivek svítivosti při použití zdroje s rozdílným světelným tokem než je 1klm ve stejném svítidle.

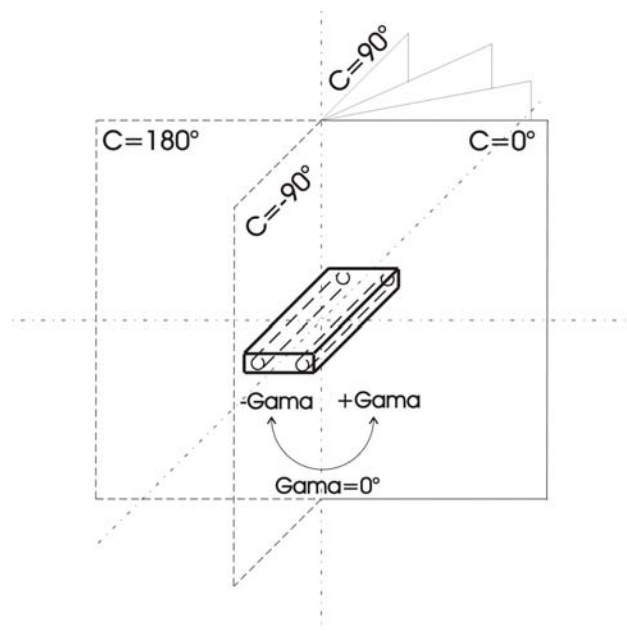
Soustava $A-\alpha$:



Soustava $B-\beta$:



Soustava $C-\gamma$:



Obr.2.2

Pro přepočet platí vztah:

$$I(\gamma) = I_{klm}(\gamma) \cdot \frac{1000}{\Phi_{clk}} \quad [\text{cd}; \text{cd} \cdot \text{klm}^{-1}, \text{lm}] \quad (2.5)$$

Φ_{clk} - Celkový světelný tok zdrojů ve svítidle

$I(\gamma)$ - Hodnota svítivosti v úhlu γ pro zdroj s $\Phi_{clk} \neq 1 \text{klm}$

$I_{klm}(\gamma)$ - Hodnota svítivosti v úhlu γ pro zdroj s $\Phi_{clk} = 1 \text{klm}$

Zobrazení křivek je možné buď v polárních souřadnicích což je nejčastější, ale je též možné použít kartézských souřadnic, které jsou v některých případech výhodnější.

Křivky svítivosti je možné měřit na fotometrické lavici kde jeden z vozíků je upraven pro naklání a otáčení svítidla. Vozík je opatřen úhloměry pro odečítání polohy. Zamezení vlivu rozptýleného světla se provádí vložením clon, které zajišťují, aby na fotonku dopadalo světlo pouze od měřeného zdroje. Měřený světelný zdroj musí být dostatečně vzdálen, aby byla splněna podmínka minimální fotometrické vzdálenosti.

Definice: Mezní fotometrická vzdálenost je taková vzdálenost od zdroje, z níž je možné uvažovaný zdroj považovat za bodový a od níž je již možné používat fotometrický zákon druhé mocniny vzdálenosti.

Obecně platí, že svítivost lze určit pouze pro bodový zdroj, tedy zdroj ležící v nekonečnu. Proto přesnost měření závisí i na vzdálenosti svítidla od fotočidla. Čím více se zdroj přibližuje k fotočidlu tím větší vzniká chyba měření. Velikost chyby závisí na poměru největšího rozměru zdroje a vzdálenosti přijímací plochy fotočidla. Přibližně lze říci, že pokud je zdroj vzdálen od fotonky 5 krát dále než je jeho největší rozměr vzniká při použití zákona druhé mocniny vzdálenosti chyba menší než 1%. Proto lze tuto hodnotu použít pro většinu běžných zdrojů i svítidel jako mezní fotometrickou vzdálenost.

Problém může nastat při měření zářivkových svítidel, které mají velké svítící rozměry což vyžaduje velkou vzdálenost od měřícího místa. S ohledem na prostorové možnosti nezbývá než měřit v menší vzdálenosti od zdroje což vnáší do měření chyby.

V některých případech je možné opravit chybu pomocí korekce, která je uvedena v normě ČSN 36 0010 pro kruhový i přímkový zdroj.

Ve většině případů jsou křivky svítivosti měřeny pomocí goniofotometrů, a to různých typů provedení a konstrukce. Křivky svítivosti je možné měřit i pomocí fotometrické lavice, což ale není příliš obvyklé.

2.1.3 Světelný tok

Světelný tok Φ [lm] je veličina, která udává hodnotu zářivého toku schopného vyvolat zrakový vjem. Jelikož zrakový orgán každého jedince má jiné vlastnosti (různou spektrální citlivost) byl vytvořen tzv. normální fotometrický pozorovatel.

Vztah pro výpočet světelného toku monochromatického záření:

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad [\text{lm}; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{W}] \quad (2.6)$$

$K(\lambda)$ - Světelná účinnost monochromatického záření pro normálního fotometrického pozorovatele

$\Phi(\lambda)$ - Světelný tok o vlnové délce λ

$\Phi_e(\lambda)$ - Zářivý tok o vlnové délce λ

Vztah pro výpočet světelného toku:

$$\Phi = \int_0^{\infty} K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \cdot d\lambda \quad [\text{lm}; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{W}] \quad (2.7)$$

Tato veličina je jedním z parametrů, které se udávají u světelných zdrojů např. spolu s výkonem zdroje a indexem podání barev. V případě této diplomové práce je tato veličina použita pro výpočet normované křivky svítivosti která je výsledkem měření.

2.1.4 Osvětlenost

Je množství světelného toku dopadlého na plochu neboli plošná hustota světelného toku.

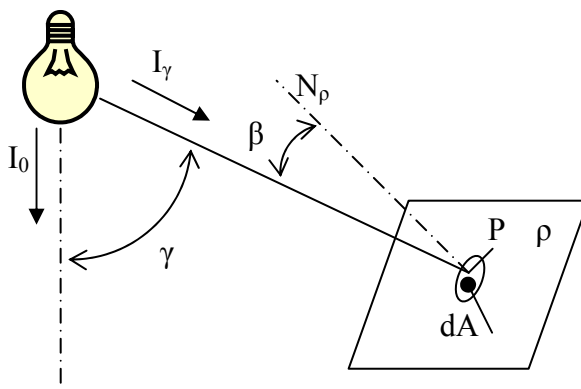
Intenzita osvětlení E [lx] je dána vztahem:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad [\text{lx; lm, m}^2] \quad (2.8)$$

Lambertův kosinusový zákon (zákon druhé mocniny):

Osvětluje-li se ploška dA v okolí bodu P v rovině ρ bodovým zdrojem ze vzdálenosti l a svírá-li normála N_ρ roviny ρ úhel β mohu odvodit pro osvětlenost $E_{P\rho}$ v bodě P vztah:

$$E_{P\rho} = \frac{I_\gamma \cos \beta}{l^2} \quad [\text{lx; cd, -, m}] \quad (2.9)$$



Obr.2.3 Lambertův kosinusový zákon

Měření osvětlenosti se provádí měřicími přístroji zvanými luxmetry. Metodika měření osvětlení je popsána v normě ČSN 33 1611-1, ve které jsou uvedeny postupy při měření osvětlení vnitřních prostorů jak při denním, tak také sdruženým nebo umělým osvětlením.

Jedním z cílů této diplomové práce je naměřit co nejlépe právě tuto veličinu na daném místě v prostoru. Z této veličiny je totiž možné vypočítat pomocí Lambertova kosinusového zákona veličinu, která nás zajímá, a to svítivost ve směru k místu kde měříme osvětlenost.

2.1.5 Světelná účinnost svítidel

Světelný tok, který vychází ze svítidla je vlivem ztrát menší než světelný tok vycházející ze zdroje. Tyto ztráty jsou způsobeny plochami, které nemají ideální optické vlastnosti a pohlcují část světelného toku. Každá reflexní plocha je ohodnocena tzv. koeficientem absorpce, který udává kolik světelného toku zůstane pohlceno plochou. Stejně ohodnocení se provádí i pro průsvitné kryty svítidel.

Vztah pro výpočet světelné účinnosti svítidla:

$$\eta = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} \cdot 100 \quad [\% ; \text{lm}, \text{lm}] \quad (2.10)$$

η - Světelná účinnost svítidla

Φ_z - Celkový světelný tok vyzářený zdrojem ve svítidle

Φ_{sv} - Celkový světelný tok vycházející ze svítidla

Účinnost je tedy závislá na druhu zdroje, fotometrické ploše svítivosti svítidla, ale i na poloze zdroje ve svítidle. Dále pak na vlastnostech materiálů použitých při výrobě jednotlivých částí svítidla. I u otevřených svítidel je účinnost menší než 100%, jelikož část světelného toku se i v tomto případě odráží od svítidla.

Je-li světelný tok použitého světelného zdroje závislý na okolní teplotě udávají se další účinnosti, a to účinnost světelná, účinnost provozní a účinnost optická. Optická účinnost se stanovuje z hodnot světelných toků svítidla a zdrojů určených

za stejných podmínek a pracovní teploty jako při provozu svítidla. Provozní účinnost svítidla je pak určena poměrem toku vyzářeného svítidlem při provozní teplotě k toku zdrojů, který se stanoví za předepsaných podmínek a to normalizované teploty s normalizovaným předřadníkem. Zdroje závislé na teplotě prostředí jsou především zdroje pracující na principu elektrického výboje v plynech, a to především různé druhy zářivek. Jejich světelný tok je závislý na tlaku plynu uvnitř trubice, a ten je závislý na teplotě. Stejně tak je na teplotě závislý luminofor zářivkového zdroje. Obvykle se hodnoty účinnosti pohybují v rozmezí 30 – 90%.

Optická účinnost svítidla:

$$\eta_{optická} = \frac{\Phi_{sv}(\vartheta)}{\Phi_z(\vartheta)} \cdot 100 \quad [\% ; \text{lm}, \text{lm}] \quad (2.11)$$

$\eta_{optická}$ - Optická účinnost svítidla

Φ_z - Celkový světelný tok vyzářený zdrojem při provozní teplotě

Φ_{sv} - Celkový světelný tok vycházející ze svítidla při provozní teplotě

Provozní účinnost svítidla:

$$\eta_{provozní} = \frac{\Phi_{sv}(\vartheta)}{\Phi_z(25^{\circ}\text{C})} \cdot 100 \quad [\% ; \text{lm}, \text{lm}] \quad (2.12)$$

$\eta_{provozní}$ - Provozní účinnost svítidla

Φ_z - Celkový světelný tok vyzářený zdrojem za předepsaných podmínek (katalogová hodnota)

Φ_{sv} - Celkový světelný tok vycházející ze svítidla při provozní teplotě

2.1.6 Výpočet světelného toku svítidla

Vycházíme z předpokladu, že je známé rozložení svítivosti daného svítidla do všech směrů v prostoru.

Vztah pro výpočet světelného toku svítidla obecně:

$$d\Phi = I_{\gamma\xi} \cdot d\Omega \quad [\text{lm}; \text{cd}, \text{sr}] \quad (2.13)$$

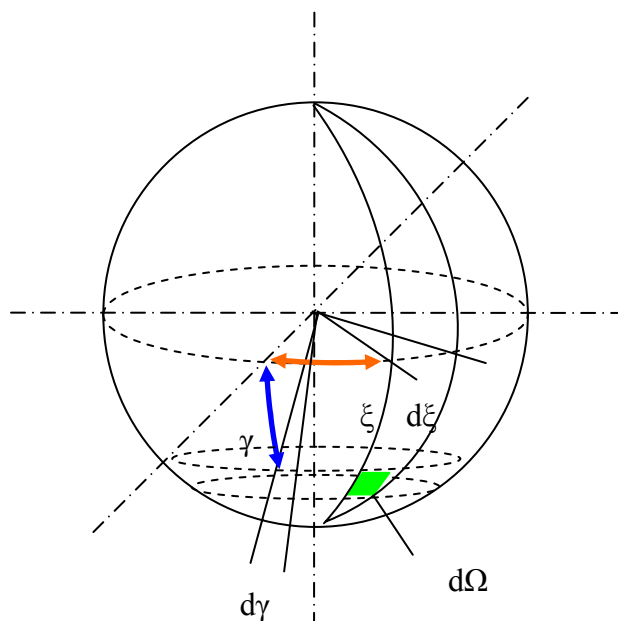
$I_{\gamma\xi}$ - Svítivost svítidla do směru daného úhly γ, ξ

$d\Phi$ - Element světelného toku

$d\Omega$ - Element prostorového úhlu

Vztah pro výpočet elementu prostorového úhlu v závislosti na úhlech γ, ξ :

$$d\Omega = \sin \gamma \cdot d\gamma \cdot d\xi \quad [\text{sr}; -, \text{rad}, \text{rad}] \quad (2.14)$$



Obr.2.4 Znáznění elementu prostorového úhlu

Výpočet celkového světelného toku svítidla:

$$\Phi = \int_{\Omega=0}^{4\pi} I_{\gamma\xi} \cdot d\Omega = \int_{\xi=0}^{2\pi} \int_{\gamma=0}^{2\pi} I_{\gamma\xi} \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma \cdot d\xi \quad [\text{lm}; \text{cd}, \text{sr}] \quad (2.15)$$

Tyto vztahy můžeme použít pokud máme veličinu světelný tok jako spojitou funkci. Většinou se měří hodnoty svítivosti diskrétně. Pak je možné aproximovat průběh svítivosti nějakou spojitou funkcí nebo použít pro výpočet nějakou diskrétní metodu výpočtu např. metodu pásmových toků.

Metoda výpočtu světelného toku svítidla pomocí pásmových toků:

a) Pro rotačně symetrické svítidlo:

Světelný tok svítidla je součet jednotlivých přírůstků světelného toku počítaný po úsecích úhlů $\Delta\gamma$ viz obrázek 2.5.

Výpočet světelného toku rotačně symetrického svítidla:

$$\Phi = \sum_{j=1}^n \Delta\Phi_j(\gamma) \quad [\text{lm}; \text{lm}] \quad (2.16)$$

Celkový úhel, přes který budeme počítat je π a tedy počet jednotlivých výpočetních kroků je $n = \frac{\pi}{\Delta\gamma}$. Pro výpočet přírůstku světelného toku $\Delta\Phi$ použijeme hodnotu svítivosti právě ze středu každého přírůstku $\Delta\gamma$, neboť nejlépe vystihuje svítivost po celém přírůstku úhlu $\Delta\gamma$.

Výpočet přírůstku světelného toku:

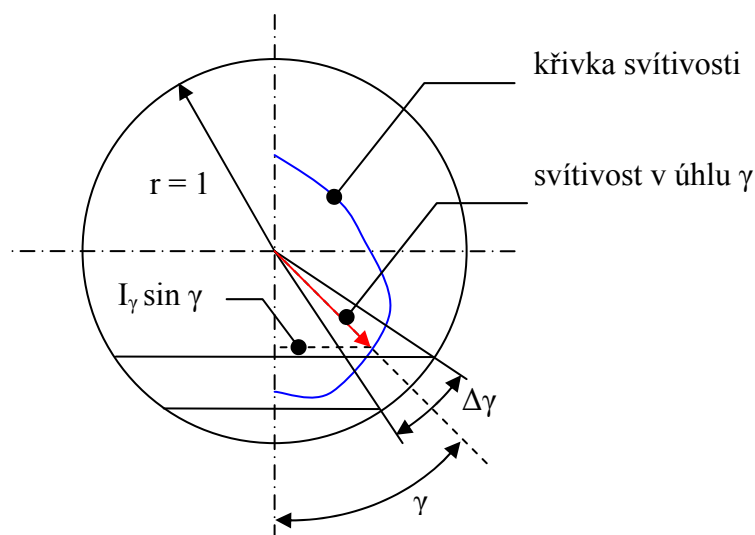
$$\Delta\Phi_j = I_\gamma \cdot \Delta\Omega \quad [\text{lm}; \text{cd}, \text{sr}] \quad (2.17)$$

I_γ - Svítivost pod úhlem γ

$\Delta\gamma$ - Úhel ve kterém bereme svítivost jako konstantu

$\Delta\Phi$ - Světelný tok v prostorovém úhlu $\Delta\Omega$ dané křivky svítivosti

$\Delta\Omega$ - Prostorový úhel pásu vytknutého na jednotkové kouli úhlem $\Delta\gamma$



Obr.2.5 Metoda pásmových toků

Pro výpočet přírůstku světelného toku potřebujeme také znát hodnotu prostorového úhlu, kterému připadá svítivost pod úhlem γ . Prostorový úhel vypočítáme z následujícího vztahu.

Výpočet přírůstku prostorového úhlu:

$$\Delta\Omega = 2\pi \cdot \Delta\gamma \cdot \sin \gamma \quad [\text{sr; rad, -}] \quad (2.18)$$

b) Pro rotačně nesymetrické svítidlo:

Pro rotačně nesymetrické svítidlo nám nestačí pouze jediná křivka svítivosti jako pro symetrické svítidlo. Proto musíme vypočítat hodnotu světelného toku pro každou křivku zvlášť jako pro rotačně symetrické svítidlo a hodnoty dosadit do následujícího vztahu kde Φ_i je světelný tok rotačně souměrného svítidla pro i -tou křivku svítivosti, $\Delta\xi_i$ je úhel, který odpovídá i -té křivce svítivosti, m je počet naměřených křivek svítivosti po úhlech $\Delta\xi$.

Výpočet světelného toku rotačně nesymetrického svítidla:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^m \Delta\xi_i \cdot \Phi_i \quad [\text{lm; rad, lm}] \quad (2.19)$$

2.2 Měření

Obsahem této kapitoly je seznámení se způsoby měření fotometrických veličin a s problémy, které při měření nastávají. Dále se tato kapitola zabývá seznámením s nežádoucími vlivy zvyšujícími nepřesnosti měření a přístroji, které se pro měření fotometrických veličin používají.

2.2.1 Seznámení s goniofotometry

Goniofotometry jsou přístroje konstruované pro měření křivek svítivosti. Podle druhu goniofotometru je možné naměřit křivky svítivosti v různých soustavách rovin po různých úhlech a s různou přesností. Nejčastěji se měří křivky svítivosti po krocích o velikosti 1 nebo 5° s ohledem na typ a použití měřeného svítidla. Velikost kroků můžeme volit různě. Především záleží na tom, jak velkou přesnost požadujeme, zda-li svítidlo obsahuje ostré přechody svítivosti a zda-li je goniofotometr schopný měřit v té dané přesnosti. Některé aplikace svítidel vyžadují přesnost větší a to např. reflektory automobilů, kde se měří křivky svítivosti po menších úhlech např. až desetinách stupně.

Základním požadavkem na goniofotometr je dostatečná tuhost konstrukce, to proto, aby se zamezilo chybám, které vznikají deformací ramena goniofotometru při jeho natáčení. Důležité je také nastavení svítidla přímo do osy otáčení goniofotometru a zamezení vlivu rozptýleného světla úpravou okolních ploch. Plochy musí mít co nejmenší činitel odrazu (nejméně odrazivá je černá matná plocha).

2.2.2 Druhy goniofotometrů

Podle konstrukce rozlišujeme čtyři základní druhy goniofotometrů:

1) konstrukce kde je pevně uchyceno fotočidlo a při měření se otáčí svítidlo

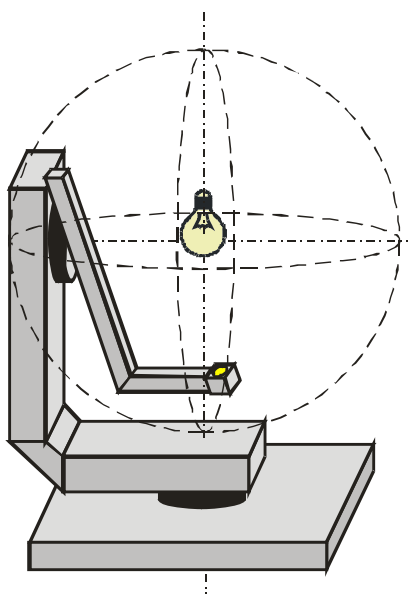
Tento druh goniofotometru je poměrně rozšířený. Jeho největší slabinou je, že svítidlo není během celého měření ve své pracovní poloze. Některá svítidla mají světelný tok závislý na natočení svítidla a při měření tímto typem goniofotometru vzniká chyba měření. Výhodou tohoto typu goniofotometru bývá možnost zvolit si vzdálenost mezi fotočidlem a měřeným svítidlem a můžeme téměř vyloučit chybu způsobenou malou fotometrickou vzdáleností. Jeden z takovýchto goniofotometrů je na obrázku 2.6.



Obr.2.6 Goniofotometr firmy LMT Lichtmesstechnik typ GO-V 1900

2) *konstrukce kde je pevně uchycené svítidlo a při měření se otáčí fotočidlo*

Goniofotometry této konstrukce mají pohyblivé rameno, na kterém je připevněn fotometrický snímač - fotočidlo. Snímač obíhá svítidlo v konstantní vzdálenosti od svítidla (po kružnici), a aby byla splněna podmínka minimální fotometrické vzdálenosti musí být rameno dostatečně dlouhé. Z tohoto vyplývá, že tento typ goniofotometru má velké nároky na prostor, ve kterém bude umístěn. Proto se nejvíce využívá pro měření křivek svítivosti svítidel s malými rozměry.



Obr.2.7 Schématický princip goniofotometru s pohyblivým fotočidlem

Výhodou tohoto konstrukčního uspořádání oproti konstrukci pevně umístěného fotočidla a otočného svítidla je fakt, že svítidlo je zde připevněno ve své pracovní poloze, čili v poloze, ve které se bude používat. Odpadá vliv změny světelného toku v závislosti na natočení svítidla.

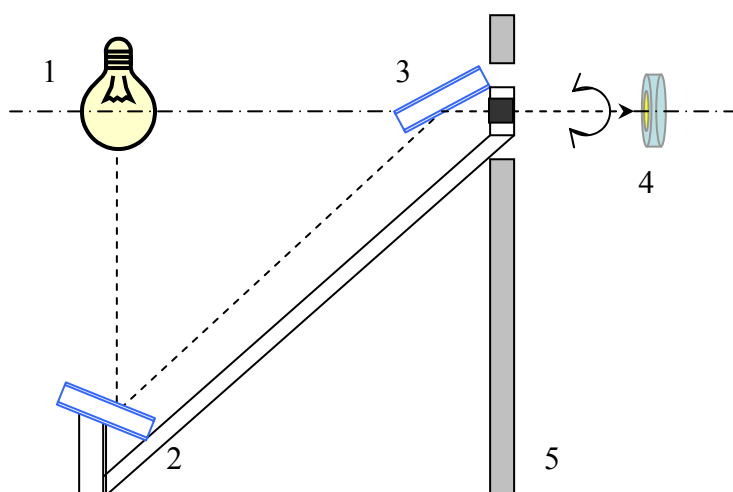
Některé goniofotometry tohoto druhu používají CCD kameru místo fotočlánku, a to jim umožňuje zjišťovat, která část svítidla přispívá do daného úhlu více. Tedy neberou svítidlo jako bodový zdroj a mohou tedy částečně kompenzovat chybu vzniklou nedostatečnou fotometrickou vzdáleností svítidla od fotočidla.

3) *konstrukce kde je pevně uchycené jak svítidlo tak i fotočidlo a při měření se otáčí zrcadlový systém*

U tohoto goniofotometru je světlo odráženo dvěma zrcadly a fotometrická vzdálenost svítidla je dána součtem jednotlivých vzdáleností zrcadel, svítidla a fotočidla. Na těchto goniofotometrech se většinou měří pouze relativní křivka svítivosti, protože pro absolutní měření bychom museli znát absorpci použitých zrcadel. Postup měření je takový, že se nejdříve naměří relativní křivka svítivosti, a poté se zkalibruje na hodnotu absolutní svítivosti I_0 .

Pokud před měřením ocejchujeme goniofotometr normálem svítivosti, nemusíme znát vzdálenosti ani činitele absorpce zrcadel a můžeme okamžitě měřit v absolutních hodnotách.

Tyto goniofotometry jsou velmi náročné na konstrukční řešení a též na kvalitu použitých zrcadel.



Obr.2.8 Principiální znázornění goniofotometru s pohyblivými zrcadly

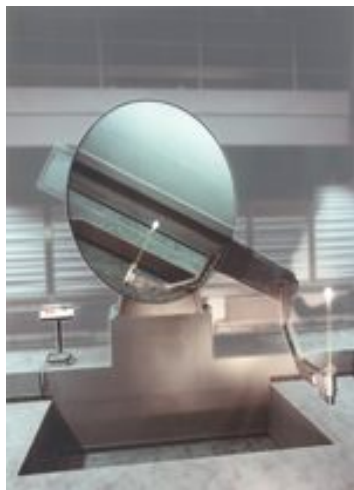
- 1 - Měřené svítidlo nebo zdroj
- 2 - Zrcadlo umístěné na otáčivém rameni
- 3 - Zrcadlo umístěné v ose otáčení ramena
- 4 - Pevně umístěné fotočidlo
- 5 - Rám goniofotometru

4) *konstrukce kde je použita kombinace předchozích uspořádání*

Tato konstrukční uspořádání jsou různá. Většinou konstruktéři řešili problém spočívající ve velikosti goniofotometru a minimální fotometrické vzdálenosti.

Jedním z nekonvenčních řešení je goniofotometr laboratoře Mazda v Puteaux. Tento goniofotometr je konstrukčně nejbližší druhé skupině, tedy goniofotometru s pevnou pozicí svítidla a pohyblivým se fotočidlem. V této laboratoři jsou ale mezi svítidlem a fotočidlem ještě navíc umístěna dvě zrcadla, která zaručují dostatečnou fotometrickou vzdálenost mezi svítidlem a fotočidlem. Rozměr zrcadel byl spočítán tak, aby fotočidlo registrovalo celou svítící plochu svítidla.

Další řešení použité v Elektrotechnickém zkušebním ústavu v Praze je goniofotometr s pevným fotočidlem, posuvným zdrojem a zrcadlem. Zde se při měření otáčí svítidlo po kruhové dráze. Při tom je stále umístěno ve své pracovní poloze. Spolu se svítidlem se natáčí i zrcadlo, které směřuje odraz do pevně umístěného fotočidla.



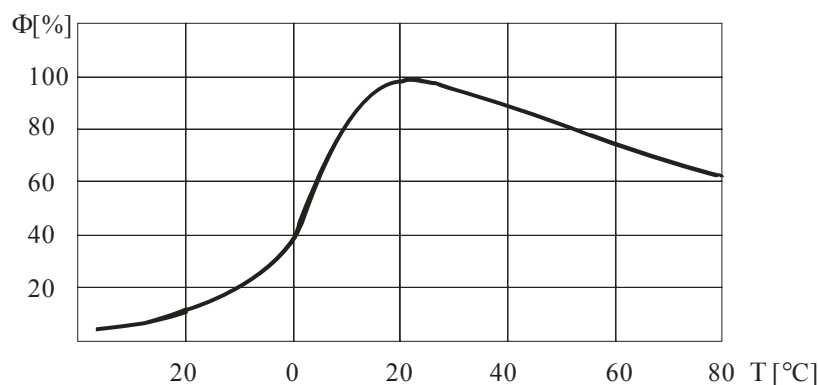
Obr.2.9 Goniofotometr firmy LMT Lichtmesstechnik typ GO-DS 1600/2000

2.2.3 Nežádoucí vlastnosti zářivkových zdrojů mající vliv na měření křivek svítivosti

Tepelná závislost světelného toku zářivek

Zářivkové zdroje mají velkou nevýhodu oproti tepelným zdrojům, protože jejich světelný tok je závislý na teplotě trubice, která je potažmo závislá i na teplotě okolí. Standardní zářivky vyzařují maximum světelného toku při teplotě povrchu trubice 40°C což odpovídá 25°C okolí zářivky. Při teplotách okolí, které jsou nižší než 25°C se sníží světelný tok zdroje. Tento pokles světelného toku je způsoben nižším tlakem rtuťových par v trubici zářivkového zdroje. Při teplotách okolí, které jsou vyšší než 25°C je pokles způsoben nižší účinností luminoforu zdroje.

S tímto problémem také souvisí změna světelného toku zdroje v závislosti na úhlu natočení svítidla. Svítidlo se změnou úhlu natočení mění rozložení teploty kolem trubice zářivek a tím ovlivňuje i hodnotu světelného toku vycházejícího ze zdroje.



Obr.2.10 Závislost světelného toku na teplotě okolí

Časová závislost světelného toku zářivek

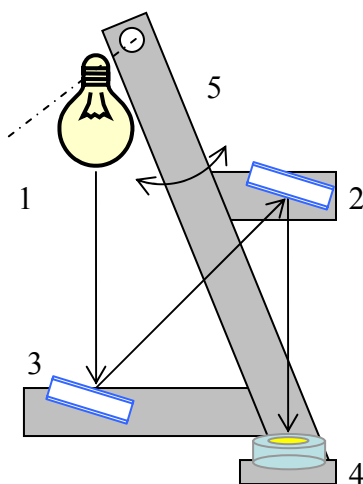
Světelný tok zářivek je také závislý na době provozu. U nové zářivky během prvních 100 hodin světelný tok výrazně klesne, a to přibližně o 10%. Této době se říká doba zahoření zdroje. Po této době již světelný tok klesá pomaleji. Výrobci vyrábějící zářivkové zdroje uvádějí jako štítkovou hodnotu světelný tok. Tento světelný tok uváděný jako štítkový údaj je hodnota světelného toku zdroje právě po 100 hodinách hoření zdroje.

U zářivek také není ihned po zapnutí světelný tok na svém maximu. Plné hodnoty dosahuje zdroj přibližně až po 3 minutách.

2.2.4 Měření křivek svítivosti zářivkových svítidel

Měření křivek svítivosti zářivkových svítidel s sebou přináší mnohá úskalí. Především to jsou velké rozměry zdrojů (lineárních zářivek) a s tím související problém fotometrické vzdálenosti, ale i závislost světelného toku zářivkových zdrojů na teplotě, čase provozu zdroje, druhu použitého předřadníku, apod.

Vliv vzdálenosti na výsledky měření může být u zářivkových svítidel dost výrazný, neboť některé zdroje (lineární zářivky) mají velké rozměry, a to např. až 1,5m. Ze zákona fotometrické vzdálenosti víme, že vzdálenost fotočidla od svítidla musí být 5 krát větší než největší rozměr svítivé plochy svítidla, abychom měli jistotu chyby menší než 1%. S ohledem na problémy s velikostmi místností se snižuje fotometrická vzdálenost až jen na 2,5 násobek, kdy se předpokládá, že chyba způsobená fotometrickou vzdáleností se pohybuje kolem asi 5%. Tento násobek 2,5 je naprosté minimum, které je doporučeno použít při nedostatku prostoru.



Obr2.11 Rameno goniofotometru s pohyblivými zrcadly i foto-čidlem

- 1 - Zdroj nebo svítidlo
- 2 - Zrcadlo č.1
- 3 - Zrcadlo č.2
- 4 - Fotočidlo
- 5 - Rameno goniofotometru

Při měření v malé fotometrické vzdálenosti existuje řada způsobů, jak může být vliv malé vzdálenosti částečně kompenzován. Jako kompenzaci vlivu malé fotometrické vzdálenosti je možné např. zatemnit část svítidla nebo vyhledat v normě ČSN360010 korekční činitele.

V některých laboratořích používají pro zvětšení fotometrické vzdálenosti speciální typ goniofotometru, který má umístěn mezi svítidlem a fotočidlem ještě 2 zrcadla, čímž se dráha paprsků prodlouží viz. obrázek 2.11. Fotometrická vzdálenost je pak dána součtem jednotlivých vzdáleností. Tento typ goniofotometru má ovšem nevýhody plynoucí právě z použití zrcadel, a to především ze složitého konstrukčního uspořádání a absorpce použitých zrcadel.

Vliv na měření křivek svítivosti má i změna teploty. Změna teploty může způsobit změnu světelného toku a tím i změnu svítivosti v daném místě a zkrácení výsledku měření křivek svítivosti. Je tedy nutné dosáhnout tepelné stabilizace svítidla. To znamená pokud máme možnost provádět měření v klimatizované místnosti nejlépe s teplotou 25°C kdy vyzařuje zdroj největší světelný tok. V podstatě je ale možné měřit při jakékoli teplotě, pokud známe průběh světelného toku zdroje v závislosti na teplotě okolního prostředí. Pokud nás nezajímají absolutní hodnoty svítivosti, ale pouze tvar křivky svítivosti, nemusíme teplotu znát vůbec. Teplota během celého měření musí být ovšem stabilizovaná na konstantní hodnotě.

Teplotní stabilizace je poměrně složitá věc, neboť nezáleží jen na teplotě prostředí, ale též na tvaru a konstrukci svítidla a na cirkulaci tepla ve svítidle. Vliv na teplotu uvnitř svítidla mohou mít i další členy než jen zdroje světelného toku, a to např. elektronické předřadníky a tlumivky, které se během provozu mohou zahřívat. Zvláště se může projevit vliv ostatních členů v uzavřeném svítidle, kde nemá teplo možnost lehce přestupovat.

Další problém spojený s teplotou vzniká při měření křivek svítivosti pomocí goniofotometru, kde se při měření natáčí svítidlo ze své pracovní polohy. Toto natočení způsobí změnu rozložení teploty ve svítidle a tedy změnu světelného toku zdroje. Při měření svítidla s více zdroji nastává změna světelných toků jednotlivých zdrojů.

Další hodnota, která by měla být dodržena při měření, je rychlost proudícího vzduchu kolem svítidla. Maximální hodnota rychlosti proudícího vzduchu, která je podle normy přípustná je 0,2m/s.

Na velikost a stabilitu světelného toku zdroje má vliv kromě teploty také velikost síťového napětí a jeho kolísání v síti. Abychom zabránili kolísání síťového napětí, předřazuje se před měřené svítidlo stabilizátor síťového napětí. Díky tomuto přístroji má napětí na vstupu svítidla správnou velikost a je konstantní, i při extrémních podmínkách jako je výrobní závod, kde může napětí v elektrické síti kolísat díky startům motorů a různých jiných zařízení. Mluvíme-li o stabilizaci síťového napětí, neměli bychom před počátkem měření zapomenout zkontrolovat, zda-li je na výstupu stabilizátoru požadovaná velikost napětí 230V. Tolerance fluktuací síťového napětí, která je dána normou, je vyčíslená v tabulce 2.2.

Před měřením je třeba též věnovat potřebnou pozornost přípravě. Při přípravě měření na goniofotometru a při připevňování měřeného svítidla do uchycovacího mechanismu musíme dbát na to, aby svítidlo bylo umístěné přesně ve středu otáčení goniofotometru. Fotometrický střed svítidla musí ležet ve stejném bodě jako průsečík os, podle kterých se goniofotometr otáčí. Fotometrický střed svítidla je daný normou a rozlišuje se podle typu svítidla. Nejčastěji to bývá střed zdroje umístěného ve svítidle.

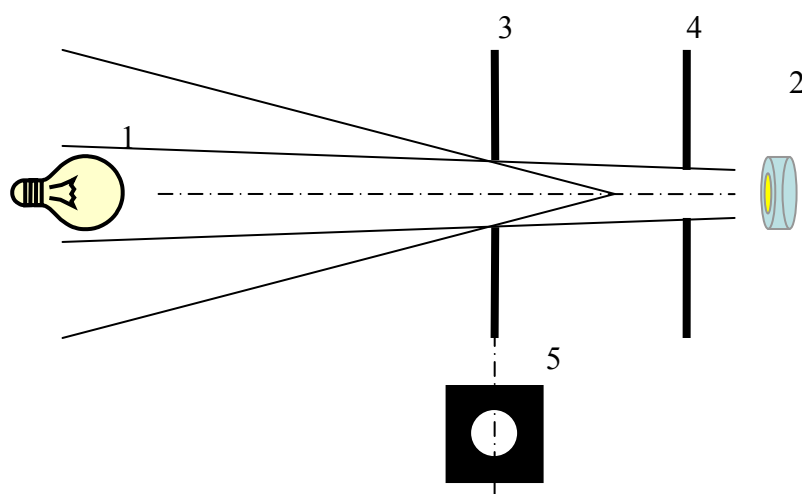
Všechny reflexní plochy svítidla a stejně i použitý zdroj by měly být dokonale čisté, aby nedocházelo k nežádoucímu pohlcování nebo odrazům světelného toku.

Před měřením bychom také měli zajistit, aby v blízkosti goniofotometru nezůstal žádný předmět, který dokáže odrážet světlo. Vzniká tak rozptýlené světlo, které má nežádoucí vliv na měření. Je to světlo, které se do fotočidla nedostává přímou cestou od svítidla, ale pomocí odrazů, a je rozptýlené po celé místnosti. Aby se co nejvíce zamezilo vlivu rozptýleného světla bývá v okolí goniofotometru, a po celé místnosti kde je fotočidlo umístěno, černá matná barva, která je největším pohlcovačem světla. Další možností, jak zamezit vlivu rozptýleného světla, je použití stínících clonek, které se umísťují mezi svítidlo a fotočidlo. Velikost otvorů clonek musí být tak veliká, aby žádná svítivá část svítidla nebyla zastíněna.

Tab.2.2 Požadavky pro měření se zářivkovými zdroji podle evropské normy:

| Veličina | Tolerance |
|-----------------------------|--|
| Tolerance napájecího napětí | $\pm 0,5 \%$ |
| Opakovatelnost měření | $\pm 2 \%$ |
| Doba zahoření zdrojů | 100 hod + 10 min vypnutí 8krát za 24 hod |
| Natočení zdroje | horizontálně, nebo podle výrobce |
| Teplota prostředí | $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ |

Údaje tolerancí jsou čerpány z evropské normy ČSN EN 13032-1



Obr.2.12 Schematické znázornění použití clonek

- 1 - Zdroj světla
- 2 - Fotočidlo
- 3 - Clonka č.1
- 4 - Clonka č.2
- 5 - Nárys clonky

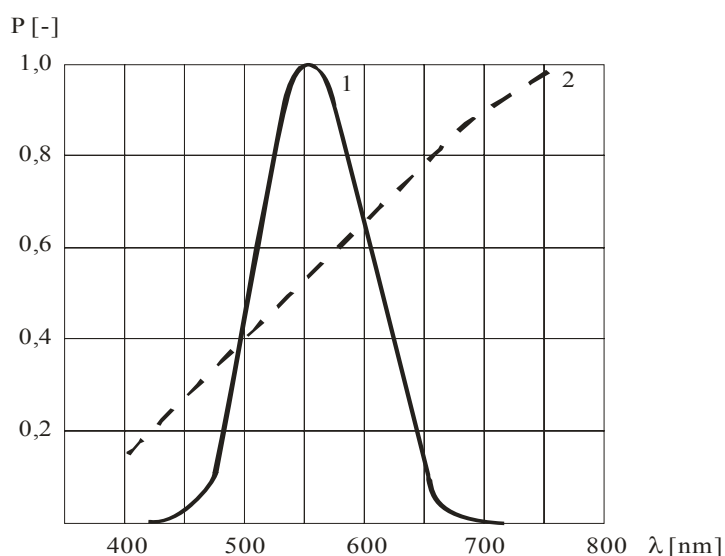
Samotné měření křivek svítivosti se skládá ze tří částí:

- 1- měření osvětlenosti nebo jasu
- 2- měření úhlů natočení
- 3- měření pomocných veličin jako napětí, proud, výkon, teplota, apd.

2.2.5 Měření osvětlenosti

Měření osvětlenosti se provádí měřicími přístroji, tzv. luxmetry. Hlavní částí luxmetru je čidlo citlivé na elektromagnetické záření většinou křemíkový nebo selenový fotočlánek. Fotočlánek převádí pomocí fotoelektrického jevu záření na elektrický signál odpovídající osvětlení v místě fotočlátku. Na konstrukci fotočlátku záleží jeho celková citlivost a jeho následné využití.

Při měření osvětlenosti je cílem měření pouze viditelná část spektra elektromagnetického záření, proto musí být čidlo vybaveno korekcí spektrální citlivosti tak, aby spektrální citlivost odpovídala spektrální citlivosti oka tzv. normálního fotometrického pozorovatele. Absence spektrálního korekčního filtru může vytvořit chybu měření v soustavách s teplotními zdroji asi 5%. Ale v osvětlovacích soustavách se zdroji výbojkovými, kde spektrální složení světla je dáno charakterem použitého fotoluminiscenčního materiálu nebo charakteristickým spektrem daného zdroje, může být tato chyba měření až 50%.



Obr.2.13 Křivka spektrálních citlivostí

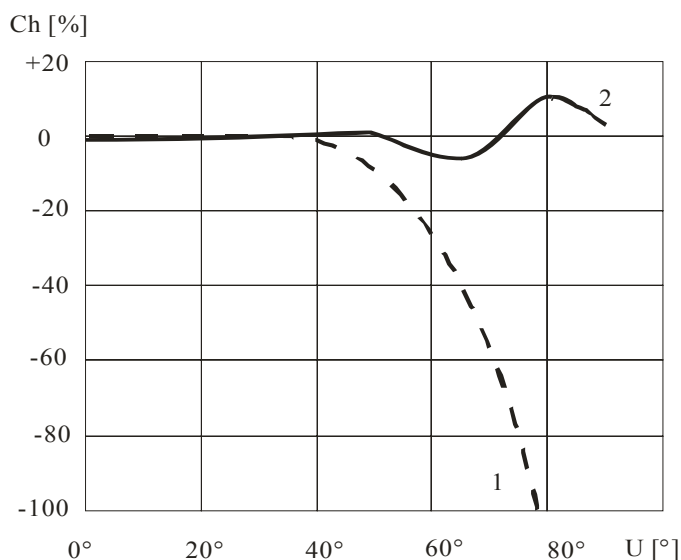
1 - Spektrální citlivost normálního fotometrického pozorovatele

2 - Spektrální citlivost křemíkového fotočlátku

P - Poměrná spektrální citlivost

λ - Vlnová délka

Nezbytnou součástí čidla je kosinusový nástavec, který koriguje směrovou chybu fotočlánku. Tato chyba je způsobená tím, že čidlo luxmetru nemá citlivost do všech směrů shodnou s kosinusovým zákonem, ale zvláště s úhly většími než 30° rychle roste viz. obrázek 2.14.



Obr.2.14 Velikost chyby v závislosti na úhlu dopadu světla

- 1 - Fotočlánek s přechýlující obrubou
- 2 - Fotočlánek s kosinusovým nástavcem
- Ch - Velikost chyby
- U - Úhel dopadu světla

Před vlastním měřením a použitím luxmetru je třeba nechat fotočlánek odkrytý ve světelném prostředí po dobu asi 15 min, aby stabilizoval své parametry, a to nejlépe v prostředí kde se bude provádět měření.

U luxmetrů se udává souhrnná chyba, která zařazuje luxmetr do třídy přesnosti L, A, B, C což odpovídá 2, 5, 10, 20%. Souhrnná chyba je součet dílčích chyb, které jsou sledovány u luxmetrů a mají vliv na přesnost měření.

Jsou to např.:

- Relativní chyba stupnice
- Spektrální chyba $V(\lambda)$
- Směrová chyba
- Chyba nestability
- Chyba vlivem teploty
- Chyba způsobená citlivostí na UV a IR záření
- Chyba linearity
- Chyba při měření modulovaného záření
- Chyba při změně rozsahu přístroje

Tab.2.3 Tolerance uvedené v evropské normě pro luxmetry používané pro laboratorní měření:

| Veličina | Maximální hodnota |
|-----------------------------|-------------------|
| chyba spektrální citlivosti | 1,5 % |
| UV citlivost | 0,2 % |
| IR citlivost | 0,2 % |
| chyba linearity | 0,2 % |
| chyba stupnice | 0,2 % |
| teplotní koeficient | 0,1 % / K |
| chyba nestability | 0,1 % |
| modulované záření | 0,1 % |
| chyba při změně rozsahu | 0,1 % |

3.Praktická část

Zadavatel firma ELKOVO ČEPELÍK potřebuje testovat a měřit své výrobky. Jedním z měření, které firma provádí, je i měření rozložení svítivosti do prostoru. K tomuto účelu firma sama navrhla a zkonstruovala vlastní přístroj goniofotometr.

Mým úkolem bylo pro tento goniofotometr navrhnout a naprogramovat podle požadavků a potřeb zadavatele uživatelsky přívětivou aplikaci.

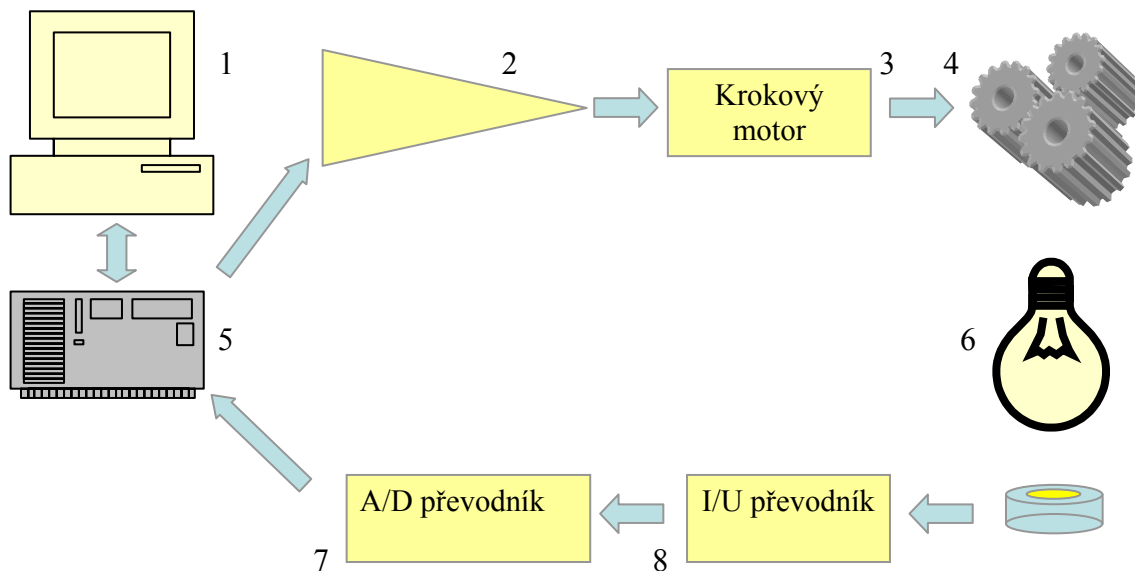
Požadavky:

- Navrhněte automatické měření se stávajícím vybavením laboratoře firmy ELKOVO ČEPELÍK.

V laboratoři je k dispozici:

- Goniofotometr
 - převodník I/U fotočlánku
 - měřicí karta spolu s osobním počítačem a operačním systémem WINDOWS
-
- Systém musí být schopný měřit křivky svítivosti všech výrobků, které firma ELKOVO ČEPELÍK vyrábí tzn. svítidla symetrická, asymetrická, přímo/nepřímá apod.
 - Vytvořená aplikace musí být schopna naměřená data zpracovat a vhodnou formou předat výpočetnímu programu WILS, který firma používá pro výpočty umělého osvětlení.
 - Aplikace musí data vhodně zobrazit již v průběhu měření.
 - Aplikace musí vytvořit potřebné výstupy, jako je soubor naměřených hodnot a katalogový list měřeného svítidla.

3.1. Popis měřicí soustavy



Obr.3.1 Blokové schéma měřicí soustavy

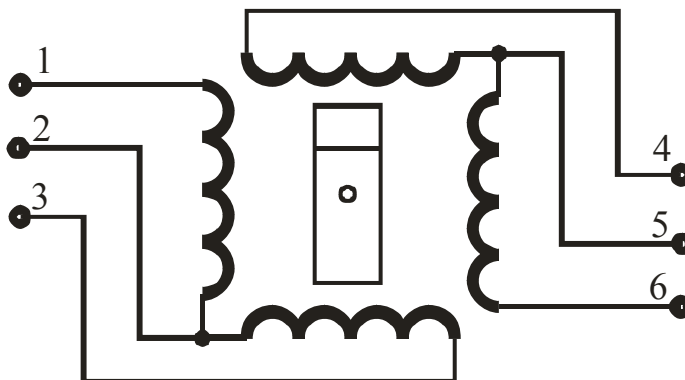
- 1 - PC s operačním systémem WINDOWS
- 2 - Zesilovač signálu měřicí karty pro napájení krokového motoru
- 3 - Krokový motor Z42QN147 od firmy MEZ Náchod
- 4 - Schématicky znázorněný převod mezi motorem a ramenem goniofotometru
- 5 - Universální měřicí karta ADC1216A od firmy ADICOM
- 6 - Měřené svítidlo
- 7 - A/D převodník
- 8 - I/U převodník
- 9 - Čidlo luxmetru umístěné na konci ramene

3.1.1 Krokový motor Z42QN147

Výrobce tohoto motoru je firma MEZ Náchod. Je to krokový motor s aktivním rotorem. Vinutí je dvoufázové čtyřpólové. Jako rotor je použit trvalý magnet a celý rotor je uložen v kuličkových ložiskách.

Tab.3.1 Základní parametry:

| | |
|---|----------------------|
| Velikost kroku [°] | 1,8 |
| Tolerance kroku [°] | $\pm 0,1$ |
| Jmenovitý proud [A] | 5,5 |
| Statický vazební moment [Nm] | 0,75 |
| Nejvyšší provozní moment [Nm] | 0,6 |
| Činný odpor jedné fáze vinutí [Ω] | $0,64 \cdot 10^{-4}$ |
| Moment setrvačnosti rotoru [kgm^2] | 0,25 |



Obr.3.2 Zapojení vývodů motoru

Podstatné pro naprogramování ovládání ramena goniofotometru je vědět o kolik stupňů se posune rameno při posunu rotoru o jeden krok. V tomto případě víme, že krok motoru odpovídá $1,8^\circ$ a posun ramene záleží na převodu mezi motorem a goniofotometrem. Převod mezi krokovým motorem a ramenem goniofotometru je převodový poměr 1:3.6, tzn. otočení rotoru krokového motoru o dva kroky způsobí pohyb ramene goniofotometru o 1° .

3.1.2 Univerzální měřicí karta ADC1216A

Karta obsahuje:

- 16 plně diferenciálních kanálů s A/D převodníky, které mají rozlišení 12 bit
- 1 asymetrický kanál s D/A převodníkem také s 12 bit rozlišením
- 8 digitálních vstupů úrovně HCT/LS
- 8 digitálních výstupů také HCT/LS

Převod A/D převodníku se provádí metodou postupné aproximace. Na vstupu A/D převodníku je také možné nastavit zisk vstupního zesilovače karty, a to na hodnotu 1, 10, 100 nebo vlastní. Polarita A/D i D/A je bipolární nebo unipolární.

Tab.3.2 Hlavní parametry měřicí karty:

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Vstupní rozsahy A/D [V] | 0 - 5; $\pm 2,5$; ± 5 |
| Výstupní rozsahy D/A [V] | 0 - 5; 0 -10; $\pm 2,5$; ± 5 |
| Minimální vstupní odpor [Ω] | $1 \cdot 10^9$ |
| Maximální vstupní napětí [V] | ± 30 |
| Přesnost | ± 1 LSB ± 400 ppm z rozsahu |
| Dlouhodobá stabilita | ± 500 ppm z rozsahu |

Pro správnou funkci je třeba mít nainstalován ovladač karty. Ovladač spolu s dalšími soubory pro práci s kartou je možné najít a zkopírovat z internetových stránek výrobce na adrese <http://www.mereni.cz/> na záložce DOWNLOAD. Název souboru je 1216w32.zip. Podrobnosti instalace karty jsou uvedeny v souboru readme.txt.

3.1.3 Čidlo goniofotometru

Jako čidlo, které nám dává informaci o hodnotě osvětlení v daném místě je použito čidlo z měřicího přístroje PU550 včetně filtrů a kosinusového nástavce. Fotočidlo je zobrazeno na obrázku 3.3. Měřicí přístroj vyrábí firma Metra Blansko,a.s.

Jako fotočidlo je použita u tohoto přístroje křemíková fotodioda s aktivní plochou 1cm^2 . Výstupní proud fotodiody je lineárně závislý na jejím osvětlení. Fotodioda je umístěna v pouzdru společně s filtrem, který má tzv. fotopickou charakteristiku $V(\lambda)$ (citlivost na vlnovou délku dopadajícího záření stejnou jako lidské oko) a kosinusovým nástavcem sloužícím k soustředění šikmo dopadajícího záření na plochu čidla. Součástí každé sondy je certifikát, který obsahuje v tabulkové a grafické podobě závislost citlivosti sondy na vlnové délce λ dopadajícího záření včetně odchylek od normované charakteristiky $V(\lambda)$. Dále je udaná citlivost v nA/lx pro vlnovou délku 560nm .



*Obr.3.3 Přístroj PU550 spolu s fotočidlem umístěným na goniofotometru
v laboratoři firmy ELKOVO ČEPELÍK*

Tab.3.3 Max. možné chyby fotočidla udávané výrobcem:

| | |
|---|---------------------------|
| Odchylka fotoproudu od lineárního průběhu | 4 % |
| Odchylka relativní citlivosti fotočidla od rel. citlivosti lidského oka | 8 % |
| Relativní směrová chyba v rozmezí $0 - 60^\circ$ | 5 % |
| Teplotní koeficient | $0,2 \% / ^\circ\text{C}$ |

3.2 Návrh automatického měření

V této kapitole je obsažen vlastní postup práce při tvorbě řídicího programu goniofotometru a seznámení se strukturou jednotlivých programových částí vytvořené aplikace.

3.2.1 Práce s krokovým motorem

Aby bylo možné krokový motor ovládat, musíme se nejdříve seznámit s jejich principy a s možnostmi řízení podle druhu krokového motoru a podle aplikace, ve které je krokový motor použit.

Základní princip krokového motoru je jednoduchý. Proud procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Vhodným zapojováním cívek dosáhneme vytvoření rotujícího magnetického pole, které otáčí rotorem.

Kvůli přechodovým magnetickým jevům je omezena rychlost otáčení motoru a to na několik stovek kroků za sekundu (závisí na typu motoru a zatížení). Při překročení této maximální rychlosti (nebo při příliš velké zátěži) motory začínají ztrácet kroky.

Základní rozdělení řízení motoru je na UNIPOLÁRNÍ a BIPOLÁRNÍ.

Při unipolárním řízení prochází proud v jednom okamžiku právě jednou cívkou. Motor s tímto buzením má nejmenší odběr, ale také poskytuje nejmenší kroutící moment. Výhodou tohoto řešení je jednoduché zapojení řídicí elektroniky v podstatě stačí jeden tranzistor na každou cívku.

Při bipolárním řízení prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami. Ty jsou zapojené tak, že mají navzájem opačně orientované magnetické pole. Motor v tomto režimu poskytuje větší kroutící moment, ovšem za cenu vyšší spotřeby.

Pro řízení jsou zapotřebí dva H-můstky pro každou větev jeden. To ve výsledku znamená jednak složitost zapojení a větší počet kontrolních linek (jejich počet lze zredukovat pomocí přídavné logiky).

Rozdělení řízení podle fází:

Jednofázové řízení znamená, že magnetické pole generuje pouze jedna cívka (případně dvojice cívek při bipolárním buzení).

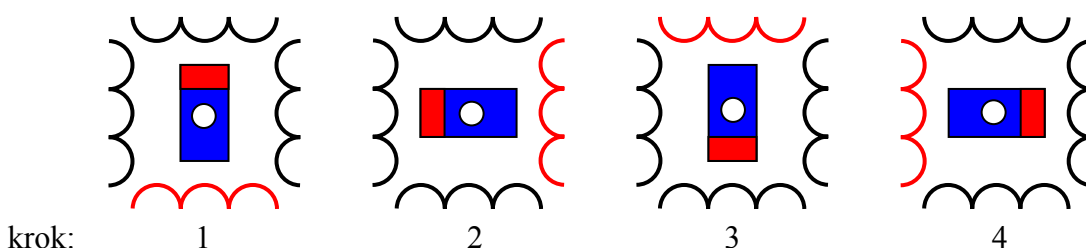
Při dvoufázovém řízení generují shodně orientované magnetické pole vždy dvě sousední cívky. Daní za vyšší krouticí moment je dvojnásobná spotřeba oproti řízení jednofázovému.

Řízení s plným nebo polovičním krokem:

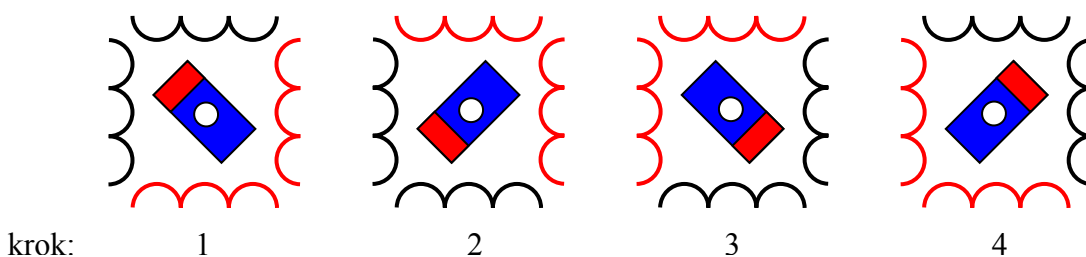
Řízení s plným krokem znamená, že na jednu otáčku je potřeba přesně tolik kroků, kolik zubů má stator daného motoru.

Řízením s polovičním krokem dosáhneme dvojnásobné přesnosti. Technicky se jedná o střídání kroků s jednofázovým a dvoufázovým řízením.

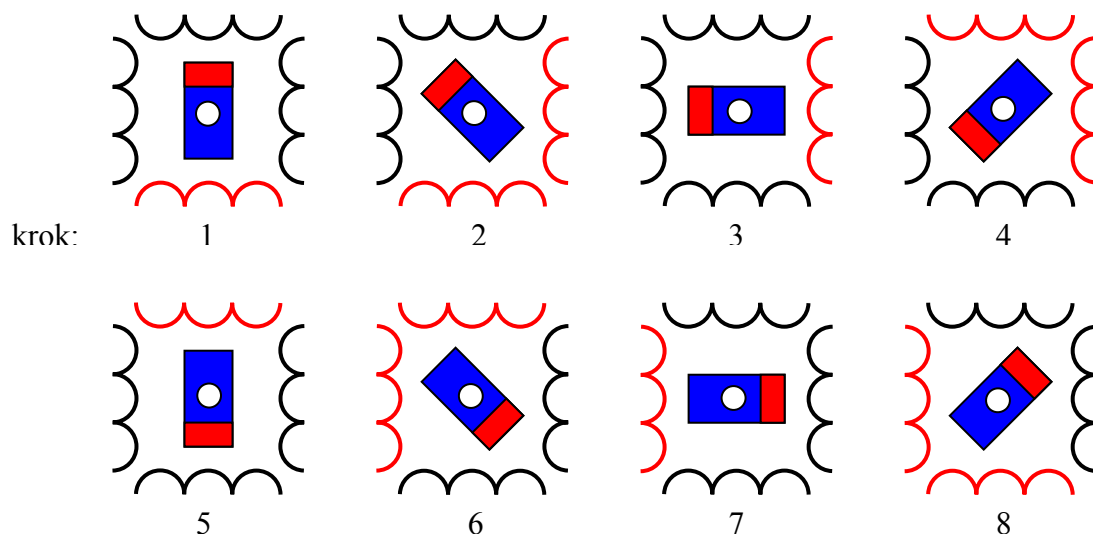
Na následujících obrázcích je zobrazen princip jednotlivých druhů řízení. Cívkou nakreslenou červenou barvou právě prochází proud takovým směrem, že přitahuje modrý konec permanentního magnetu rotoru a cívkou nakreslenou modře prochází proud tak, že přitahuje červený konec.



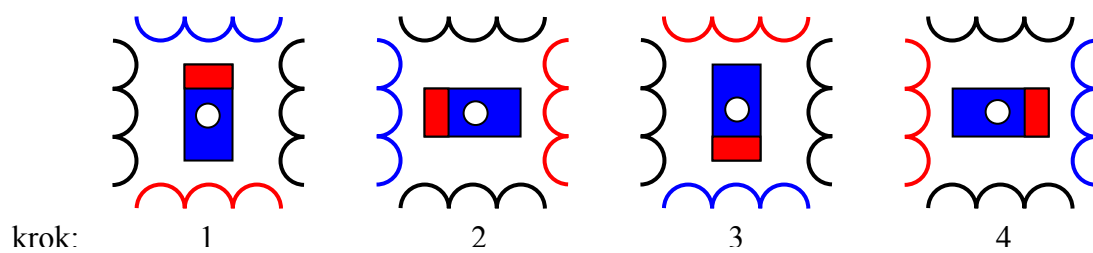
Obr.3.4 Unipolární jednofázové řízení s plným krokem



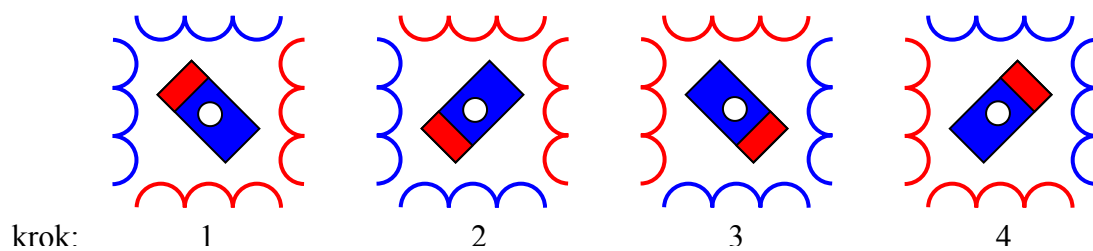
Obr.3.5 Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem



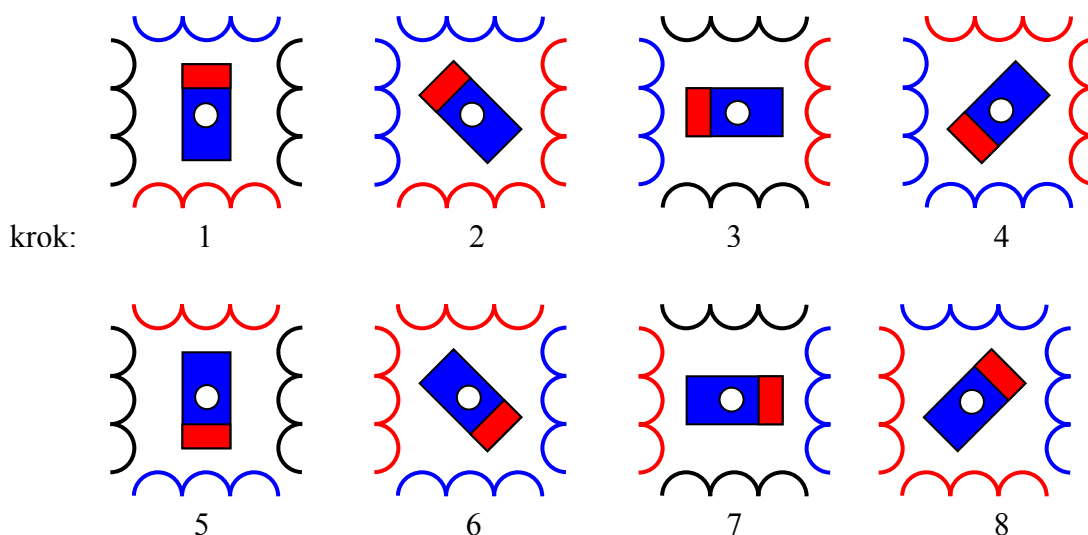
Obr.3.6 Unipolární řízení s polovičním krokem



Obr.3.7 Bipolární jednofázové řízení s plným krokem

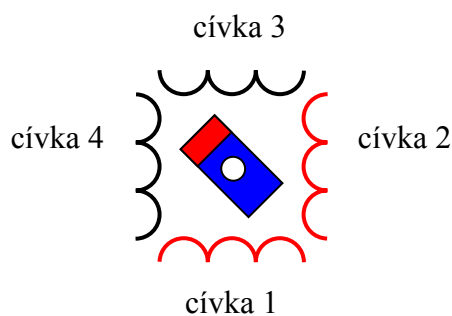


Obr.3.8 Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem



Obr.3.9 Bipolární řízení s polovičním krokem

Jako nejvhodnější z hlediska konstrukce zesilovače a goniofotometru v laboratoři se jeví řízení unipolární s polovičním krokem. Vychází jako jednoduché pro řízení včetně konstrukce zesilovače a má větší plynulost pohybu než řízení s plným krokem. Je tedy možné provádět přesnější nastavení ramene, teoreticky a v ustáleném stavu až na $\frac{1}{4}^\circ$.



Obr.3.10 Označení cívek motoru

Nevýhodou použití řízení unipolárního s polovičním krokem je ovšem menší krouticí moment, který by se v tomto případě hodil. Rameno má totiž tendenci ke kmitání. Je to způsobeno velkým momentem setrvačnosti ramena goniofotometru, který je závislý na součinu hmotnosti a kvadrátu vzdálenosti od středu otáčení. Cílem je tedy pohybovat ramenem co nejvíce plynule, tedy posílat sled pulzů v takové rychlosti a v takovém sledu, aby rameno goniofotometru nemělo možnost

se při plynulém měření zastavit. Sled pulzů musí být též tak pomalý, aby nedošlo ke ztrátě kroku. Ztráta kroku v průběhu měření by způsobila fatální chybu, neboť měření natočení ramene se provádí pouze pomocí počítání jednotlivých kroků motoru.

Empirickým způsobem byla volena konstanta, která ovlivňuje rychlost kroků vystupujících z měřicí karty. Tato rychlost je generována v programu funkcí *wait(k)* kde se konstanta *k* zadává jako vstupní parametr. Rychlost sledu kroků nebude podle očekávání konstantní, ale kolísání rychlosti vzhledem k velikosti časové konstanty je téměř zanedbatelné. Časová konstanta se jako nejvhodnější zdá hodnota 300ms. Při této hodnotě časové konstanty se pohyb jevil jako nejvíce plynulý z hlediska kmitání ramena goniofotometru.

Tab.3.4 Sled pulzů vstupujících do zesilovače:

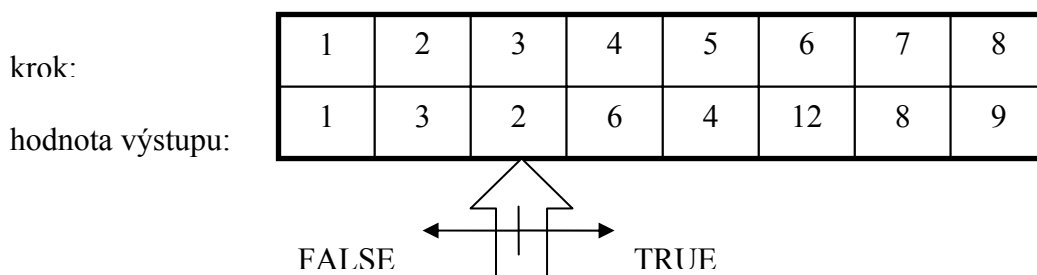
| krok: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| cívka 1 | H | H | L | L | L | L | L | H |
| cívka 2 | L | H | H | H | L | L | L | L |
| cívka 3 | L | L | L | H | H | H | L | L |
| cívka 4 | L | L | L | L | L | H | H | H |
| dekadická hodnota | 1 | 3 | 2 | 6 | 4 | 12 | 8 | 9 |

L,H jsou úrovně signálu digitálních výstupů měřicí karty. Signály jsou na úrovních logiky TTL, kde H odpovídá vysoké úrovni a L odpovídá nízké úrovni napětí.

Ovládání výstupního digitálního portu se v programu provádí pomocí příkazu *SimleSetDigital()*, kde v závorce je uvedeno dekadické číslo, které udává jaké kanály výstupního portu jsou nastaveny na jakou úroveň. Pokud se převede toto číslo na číslo binární, uvidíme okamžitě nastavení portu pomocí jedniček a nul, kde jednička znamená vysokou úroveň signálu, nula znamená nízkou úroveň signálu a pořadí číslice odpovídá kanálu na výstupním portu karty.

Dekadické hodnoty jsou v tomto pořadí uloženy v programu do pole konstant *ovladani_motoru* a výběr hodnoty výstupu karty se provádí inkrementací, nebo dekrementací proměnné *pozice*.

Proměnná *pozice* označuje krok, ve kterém se motor právě nachází. Inkrementace, nebo dekrementace této proměnné způsobí pohyb buď jedním nebo opačným směrem. Pro pohyb je vytvořena speciální funkce *inc_dec*, která má jako vstupní parametr proměnnou typu boolean udávající směr pohybu vlevo = false, vpravo = true a zaručuje opakovací cyklus kroků.



Obr.3.11 Funkce *inc_dec*

S problematikou řízení motoru též souvisí nastavení ramena goniofotometru do výchozí polohy před počátkem měření. Motor po každém měření je uveden do stavu klidu, aby nedocházelo k nevyrovnanému zatěžování jednotlivých spínacích tranzistorů v zesilovači. Tzn., že každý kanál na výstupním portu je nastaven do nízké úrovně L. V tomto stavu je možné hýbat ramenem ručně. Tento stav nám dává možnost urychlit některý pohyby ramena např. návrat ramena zpět do výchozí polohy.

Problém však nastává při každém spouštění nového měření. Nastavení ramene přímo do výchozí polohy s přesností $\frac{1}{4}^\circ$ bez zpětné vazby je téměř nemožné. Proto byl zvolen způsob, který nějakým způsobem tuto potíž řeší. V podstatě se nejprve nastaví na výstupu měřicí karty hodnota prvního kroku motoru a tím se rotor motoru vtáhne do magnetismu a ustálí rameno v některé z poloh poblíž polohy výchozí. Poloha, ve které se motor ustálí samozřejmě závisí na přesnosti nastavení ramene před vtažení do magnetismu. Dále pokud se rameno neustálilo ve správné poloze, je možné pomocí programu krokovat po $\frac{1}{4}^\circ$ dokud se rameno nedostane do přesné výchozí polohy.

3.2.2 Práce s fotočidlem

Nejprve je nutné podotknout, že i zde jelikož se jedná o fotočidlo je třeba před vlastním měřením nechat fotočidlo odkryté, aby stabilizovalo svoje parametry jak bylo uvedeno v kapitole Měření osvětlenosti (2.2.5).

Měřicí řetězec pro měření osvětlenosti sestává z vlastního fotočidla, křemíkové fotodiody opatřené filtry a kosinovým nástavcem, převodníku I/U a A/D převodníku, který je umístěn již přímo v měřící kartě.

Převodník I/U má jako každý převodník neideální vlastnosti z hlediska převodu chybu nelinearity, různé offsety apd. Nejzávažnějším problémem tohoto převodníku, který musel být řešen programově je posun nuly. Posun nuly v tomto případě znamená, že i při zakrytém fotočidle není na převodníku výstupní hodnota nulové napětí, ale nějaká hodnota blízká nule. V našem případě je tato hodnota kladné číslo. Jelikož převodník je konstruován na dva měřící rozsahy (výstupní zesílení převodníku je závislé na zvoleném rozsahu) má i převodník na obou rozsazích různé posunutí nuly. Jelikož převodník má i drobný offset, který je též závislý na zvoleném rozsahu byla hodnota posunutí získána statistickou metodou jako dlouhodobý průměr hodnot napětí na převodníku při zakrytém fotočidle a to pro oba rozsahy. Tyto hodnoty jsou potom odečítány od naměřených čísel, aby byla chyba nuly co nejvíce potlačena.

Tab.3.5 Hodnoty posunutí nuly:

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Hodnota vypočítaná pro menší rozsah | 0.02 |
| Hodnota vypočítaná pro větší rozsah | 0.00015 |

Z naměřených hodnot bylo také zjištěno, že více číslic za desetinnou čárkou než má hodnota posunutí nemá téměř význam, protože se tyto cifry mění, a to ve velkém rozmezí. V programu je proto tato část čísla úplně odříznuta. Tato část čísla ještě nese určité množství informace o osvětlenosti, a proto ve výsledku měření zvláště pak u hodnot blízkých se nule vzniká určitá chyba. Ještě je nutné dodat, že při měření na menším rozsahu je tato chyba větší, protože je větší zesílení převodníku, a tím se i více zesiluje šum a mohu tudíž použít méně platných číslic.

Pro první úpravu naměřených hodnot a práci s nimi je vytvořena funkce *cteni()*, která zajišťuje pomocí vstupního parametru označujícího vstupní kanál odečtení hodnoty, oříznutí nepotřebné části a odečtení konstanty posunu nuly. Tato funkce také zajišťuje kontrolu přetečení měřícího rozsahu. V případě, že dojde k přetečení upozorní obsluhu, aby přepnula rozsah na převodníku I/U.

Tímto postupem získám hodnotu napětí odpovídající osvětlenosti v místě fotočidla. Aby byla získána absolutní hodnota osvětlenosti, musím hodnotu napětí vynásobit převodním koeficientem. Tento koeficient je získán z kalibračního měření, které se provádí vždy na počátku. Kalibrační měření je provedeno tak, že rameno goniofotometru je nastaveno ve výchozí poloze ($\gamma = 0^\circ$) a v tomto místě se naměří hodnota napětí na převodníku. Zároveň se naměří hodnota osvětlenosti v místě fotočidla externím luxmetrem v našem případě měřícím přístrojem PU550. Z těchto naměřených hodnot program vypočítá převodní koeficient mezi napětím a osvětleností.

Vztah pro výpočet převodního koeficientu:

$$k = \frac{E}{U} \quad [\text{lx} \cdot \text{V}^{-1}; \text{lx}, \text{V}] \quad (3.1)$$

k - Převodní koeficient

E - Osvětlenost daného místa

U - Napětí na převodníku

Tímto převodním koeficientem k se násobí každá naměřená hodnota napětí a tím získáme hodnoty osvětlenosti. Jelikož každá naměřená hodnota je násobena převodním koeficientem je zřejmé, že chyba tohoto koeficientu způsobí chybu každé hodnoty z celého měření. Proto je nutné, odečítat hodnotu osvětlenosti z měřícího přístroje co nejpresněji. Výsledná přesnost pak může být v nejlepším případě shodná s chybou měřícího přístroje, se kterým je prováděna kalibrace. Zjišťování převodního koeficientu se provádí před každým měřením a předpokládá se, že tato hodnota je stálá a nemění svoji hodnotu během měření.

Cílem měření není však osvětlenost daného místa, ve kterém se fotočidlo nachází, nýbrž hodnota svítivosti vyzařující směrem k tomuto měřenému místu. Pokud uvažujeme, že měřené svítidlo je v dostatečné vzdálenosti od fotočidla

můžeme pro výpočet použít Lambertova kosinusového zákona, ze kterého si vyjádříme svítivost.

Vyjádření svítivosti z Lambertova kosinusového zákona:

$$I_{\gamma} = \frac{E_{\gamma} \cdot l^2}{\cos \beta} \quad [\text{cd; lx, m, -}] \quad (3.2)$$

E - Hodnota osvětlenosti pro natočení ramene goniofotometru na úhel γ

I - Svítivost pro daný směr

l - Vzdálenost mezi svítidlem a fotočidlem

β - Úhel odklonu normály osvětlované roviny od vektoru svítivosti

Vliv kosinusové složky můžeme vynechat, neboť fotočidlo je vždy z principu použitého goniofotometru natočené kolmo k vektoru svítivosti, z čehož plyne, že kosinusová složka je vždy jedna. Vzdálenost svítidla od fotočidla je konstantní hodnota a v našem případě 2,2m čili dosazením do předchozího vztahu dostáváme výsledný vztah pro výpočet svítivosti. Svítivost svítidla se ještě normuje na hodnotu zdroje o světelném toku 1klm.

Vztah pro výpočet svítivosti:

$$I_{\gamma} = E_{\gamma} \cdot 4,84 \quad [\text{cd; lx}] \quad (3.3)$$

Výpočet normované svítivosti:

$$I_{1klm} = I \cdot \frac{1000}{\Phi} \quad [\text{cd} \cdot \text{klm}^{-1}; \text{cd, lm}] \quad (3.4)$$

I_{1klm} - Hodnota svítivosti pro světelný tok svítidla 1klm

I - Hodnota svítivosti pro známý světelný tok svítidla

Φ - Hodnota celkového světelného toku

E_{γ} - Hodnota osvětlenosti pro úhel natočení ramene γ

I_{γ} - Hodnota svítivosti pro úhel natočení ramene γ

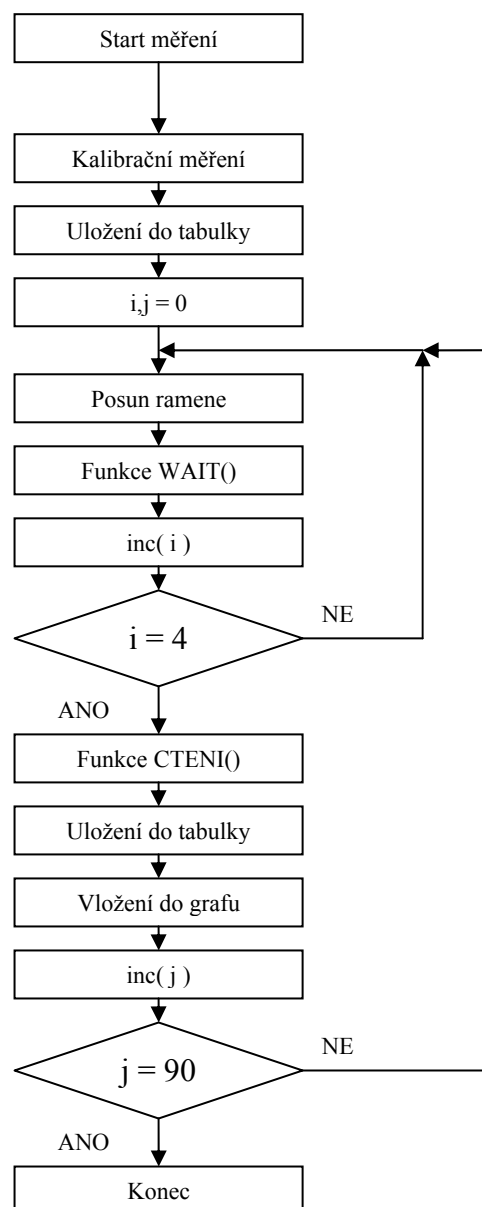
3.2.3 Měření

Funkce měření se skládá ze dvou cyklů, z nichž jeden provádí pohyb ramenem a druhý v příslušném kroku odečte hodnotu napětí na měřicí kartě. Před samotnými cykly je ještě funkce kalibrace, která zjistí převodní hodnotu napětí – osvětlenost pro výchozí stav ramene $\gamma = 0^\circ$. Měření úhlu se provádí inkrementálně. Odečítání hodnoty napětí na měřicí kartě se provádí po jednom stupni čemuž odpovídají čtyři kroky motoru. Každá naměřená hodnota se nejprve přepočítá a posléze se pak uloží do tabulky, kde sloupec odpovídá měřené rovině a řádek právě měřenému úhlu. Zároveň se tato hodnota po každém měřeném okamžiku ihned zobrazí na obrazovce.

Před zahájením měření je možné si ještě vybrat z možností, které s měřením souvisí.

Jsou to tyto nabídky:

- Pouze SIMULACE
Při zvolení této nabídky aplikace neměří aktuální hodnoty, ale simuluje svoji práci. Nabídka je vhodná pro ukázkou na PC kde není přítomna měřicí karta.
- Měření s průměrováním
Při výběru této nabídky měří goniofotometr stejnou křivku 2x a to jednou směrem nahoru a podruhé směrem zpět. Je tak možné kompenzovat nežádoucí dynamické vlastnosti fotočidla, které se projeví nejvíce při prudkých změnách osvětlenosti.
- Prezentační měření
Zobrazuje všechny možné hodnoty včetně napětí na převodníku apd..
- Krokování
Je možné měřit s manuálním nastavením ramene.
- Měřit směrem vpravo
Pohyb ramene se provádí na opačnou stranu než je standard.



Obr.3.12 Vývojový diagram měření

3.2.4 Programová komunikace s aplikací Excel

Pro komunikaci a předávání hodnot do tabulek programu Excel jsem zvolil technologii OLE Automation.

OLE Automation je technologie určená pro komunikaci mezi procesy, která umožňuje ovládání jedné aplikace jinou aplikací a to prostřednictvím skriptovacích jazyků typu Visual Basic for Applications. Je to vlastně nadstavba COMu rozšiřující možnosti objektového přístupu. Server aplikace poskytuje klientské aplikaci služby typu formátování textu, zpracování grafu, tisku, odeslání

dokumentu a další. Konkrétně pomocí této technologie může například textový editor poskytnout jiné aplikaci (grafickému editoru) službu kontroly pravopisu, CAD program může využívat výpočtové schopnosti tabulkového kalkulátoru, atd..

V mém programu je tato technologie využívána pouze pro získávání hodnot z tabulek konkrétně z databáze svítidel, pro ukládání do databáze svítidel a pro vytvoření nového sešitu.

Bohužel za universálnost a možnosti, které tato technologie přináší zaplatíme rychlostí jednotlivých operací, což znamená, že provádění práce s Excelem je časově poměrně náročné.

Používání OLE Automation serveru:

- 1) Deklarace proměnné pro přístup a ovládání automation serveru
var excel:variant;
- 2) Otevření automation serveru funkcí Create Object
excel:=CreateOleObject('Excel.application');
- 3) Přístupování k vlastnostem a metodám automation serveru pomocí proměnné vytvořené v 1. kroku
excel.workbooks[sesit].worksheets[list].cells[sloupec,radek]:='hodnota';
- 4) Uvolnění serveru při skončení
excel.quit;

3.2.5 Vlastní aplikace

Aplikace je rozdělena na pět hlavních částí a každá část je reprezentována na formuláři aplikace vlastní záložkou. Záložky jsou za sebou řazeny v takovém sledu, jak by se chronologicky při práci s programem měli používat tj. nastavení - měření - atd..

Záložky aplikace:

- Záložka **nastavení**

Obsahuje editační pole, pro zapsání údajů o měřeném svítidle, použitým zdroji apd.

- Záložka **měření**

Na této záložce je realizováno měření spolu se zobrazením měřené křivky svítivosti, dále se zde provádí kalibrace, výběr měřené roviny podle soustavy rovin C- γ , výběr druhu měření a další nastavení potřebná k měření např. je to nastavení symetrie měřeného svítidla, volba rozsahu, krokování apd.

- Záložka **tabulka naměřených hodnot**

Zde jsou zobrazená všechna naměřená data v přehledné tabulce. Data je možné v případě potřeby ručně přepsat či opravit. Pokud jsou naměřeny všechny potřebné roviny svítidla je možné na této záložce vypočítat účinnost měřeného svítidla metodou pásmových toků.

- Záložka **katalogový list**

Tato záložka obsahuje náhled katalogového listu v českém, nebo anglickém jazyce.

- Záložka **databáze**

Tato záložka obsahuje prvky, které mohou načíst a zobrazit svítidla z databáze programu WILS. Obsahuje též filtraci databáze a rychlý náhled vybraného svítidla.

3.2.6 Ověření a uvedení do praxe

Pro ověření funkčnosti a srovnání přesnosti bylo provedeno kontrolní měření stejného svítidla na různých goniofotometrech. Pro měření bylo použito svítidlo s typovým označením ZC218/3ZK. Svítidlo obsahuje dva zářivkové zdroje o celkovém výkonu 36W je opatřeno bílou reflexní mřížkou a jeho rozměry jsou 300x650x85 mm.

Měření křivek svítivosti bylo provedeno na dalších dvou goniofotometrech. Ve firmě Ing.Vyrtych-ETZ, Březno okr. Mladá Boleslav a v laboratoři VUT v Brně. V laboratoři Ing. Vyrtycha bylo provedeno měření na goniofotometru, který má pevně uchycené fotočidlo a při měření se pohybuje měřené svítidlo. Tento druh goniofotometru umožňuje měnit fotometrickou vzdálenost podle potřeby, a proto bylo pro porovnání výsledků provedeno měření ve třech různých fotometrických vzdálenostech. Zároveň tento druh goniofotometru vnáší do měření chybu způsobenou natáčením svítidla a změnou rozložení teploty ve svítidle.

Tab.3.6 Porovnání hodnot pro rovinu C0:

| [cd/klm] | ELKOVO | ETZ - 2,2 | Δ | % | ETZ - 5 | Δ | % | ETZ - 9 | Δ | % | Brno | Δ | % |
|----------|--------|-----------|----------|--------|---------|----------|--------|---------|----------|--------|-------|----------|-------|
| 0° | 310,0 | 293,1 | 16,9 | 5,8 | 301,1 | 8,9 | 2,9 | 306,6 | 3,4 | 1,1 | 307,0 | 3,0 | 1,0 |
| 5° | 310,0 | 291,6 | 18,4 | 6,3 | 300,5 | 9,5 | 3,2 | 306,2 | 3,8 | 1,2 | 306,8 | 3,2 | 1,0 |
| 10° | 308,0 | 291,1 | 16,9 | 5,8 | 298,0 | 10,0 | 3,4 | 306,1 | 1,9 | 0,6 | 302,0 | 6,0 | 2,0 |
| 15° | 302,0 | 286,7 | 15,3 | 5,3 | 294,2 | 7,8 | 2,6 | 301,6 | 0,4 | 0,1 | 298,3 | 3,7 | 1,2 |
| 20° | 295,0 | 279,6 | 15,4 | 5,5 | 287,2 | 7,8 | 2,7 | 294,9 | 0,1 | 0,0 | 291,5 | 3,5 | 1,2 |
| 25° | 284,0 | 272,7 | 11,3 | 4,2 | 277,7 | 6,3 | 2,3 | 283,0 | 1,0 | 0,4 | 281,2 | 2,8 | 1,0 |
| 30° | 272,0 | 260,9 | 11,1 | 4,3 | 265,9 | 6,1 | 2,3 | 270,1 | 1,9 | 0,7 | 268,2 | 3,8 | 1,4 |
| 35° | 251,0 | 242,7 | 8,3 | 3,4 | 245,3 | 5,7 | 2,3 | 252,3 | -1,3 | -0,5 | 246,0 | 5,0 | 2,0 |
| 40° | 218,0 | 213,0 | 5,0 | 2,3 | 216,6 | 1,4 | 0,6 | 220,5 | -2,5 | -1,1 | 215,0 | 3,0 | 1,4 |
| 45° | 172,0 | 173,3 | -1,3 | -0,8 | 172,7 | -0,7 | -0,4 | 175,9 | -3,9 | -2,2 | 167,0 | 5,0 | 3,0 |
| 50° | 123,0 | 126,2 | -3,2 | -2,5 | 125,6 | -2,6 | -2,1 | 129,3 | -6,3 | -4,9 | 121,8 | 1,2 | 1,0 |
| 55° | 79,0 | 83,9 | -4,9 | -5,9 | 84,0 | -5,0 | -6,0 | 86,5 | -7,5 | -8,7 | 80,8 | -1,8 | -2,2 |
| 60° | 54,0 | 56,6 | -2,6 | -4,7 | 56,8 | -2,8 | -5,0 | 59,5 | -5,5 | -9,3 | 55,5 | -1,5 | -2,7 |
| 65° | 38,0 | 40,1 | -2,1 | -5,2 | 40,5 | -2,5 | -6,1 | 42,5 | -4,5 | -10,6 | 39,6 | -1,6 | -4,0 |
| 70° | 26,0 | 27,7 | -1,7 | -6,1 | 27,9 | -1,9 | -6,8 | 29,6 | -3,6 | -12,1 | 27,2 | -1,2 | -4,4 |
| 75° | 15,0 | 17,7 | -2,7 | -15,2 | 17,9 | -2,9 | -16,2 | 19,4 | -4,4 | -22,6 | 17,0 | -2,0 | -11,8 |
| 80° | 8,0 | 10,1 | -2,1 | -20,7 | 10,3 | -2,3 | -22,1 | 11,4 | -3,4 | -29,8 | 9,6 | -1,6 | -16,7 |
| 85° | 3,0 | 4,3 | -1,3 | -30,3 | 4,5 | -1,5 | -33,6 | 5,4 | -2,4 | -44,3 | 3,7 | -0,7 | -18,9 |
| 90° | 0,0 | 0,1 | -0,1 | -100,0 | 0,1 | -0,1 | -100,0 | 0,6 | -0,6 | -100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tab.3.7 Porovnání hodnot pro rovinu C30:

| [cd/klm] | ELKOVO | ETZ - 2,2 | Δ | % | ETZ - 5 | Δ | % | ETZ - 9 | Δ | % | Brno | Δ | % |
|----------|--------|-----------|------|--------|---------|------|--------|---------|------|--------|-------|------|-------|
| 0° | 310,0 | 293,1 | 16,9 | 5,8 | 301,1 | 8,9 | 2,9 | 306,6 | 3,4 | 1,1 | 307,0 | 3,0 | 1,0 |
| 5° | 308,0 | 289,6 | 18,4 | 6,3 | 299,5 | 8,5 | 2,8 | 307,1 | 0,9 | 0,3 | 306,3 | 1,7 | 0,6 |
| 10° | 305,0 | 286,8 | 18,2 | 6,3 | 294,1 | 10,9 | 3,7 | 301,9 | 3,1 | 1,0 | 301,3 | 3,7 | 1,2 |
| 15° | 297,0 | 279,5 | 17,5 | 6,3 | 285,8 | 11,2 | 3,9 | 294,0 | 3,0 | 1,0 | 293,5 | 3,5 | 1,2 |
| 20° | 287,0 | 268,4 | 18,6 | 6,9 | 275,2 | 11,8 | 4,3 | 282,4 | 4,6 | 1,6 | 283,0 | 4,0 | 1,4 |
| 25° | 272,0 | 256,7 | 15,3 | 6,0 | 261,9 | 10,1 | 3,9 | 269,7 | 2,3 | 0,9 | 268,8 | 3,2 | 1,2 |
| 30° | 254,0 | 241,8 | 12,2 | 5,1 | 246,5 | 7,5 | 3,0 | 252,5 | 1,5 | 0,6 | 252,2 | 1,8 | 0,7 |
| 35° | 236,0 | 224,2 | 11,8 | 5,3 | 227,5 | 8,5 | 3,7 | 233,0 | 3,0 | 1,3 | 230,3 | 5,7 | 2,5 |
| 40° | 208,0 | 201,9 | 6,1 | 3,0 | 201,4 | 6,6 | 3,3 | 205,0 | 3,0 | 1,5 | 202,4 | 5,6 | 2,8 |
| 45° | 174,0 | 172,1 | 1,9 | 1,1 | 170,0 | 4,0 | 2,3 | 172,5 | 1,5 | 0,8 | 166,5 | 7,5 | 4,5 |
| 50° | 136,0 | 132,8 | 3,2 | 2,4 | 128,9 | 7,1 | 5,5 | 131,5 | 4,5 | 3,5 | 125,0 | 11,0 | 8,8 |
| 55° | 95,0 | 93,9 | 1,1 | 1,2 | 91,5 | 3,5 | 3,8 | 94,0 | 1,0 | 1,1 | 88,8 | 6,2 | 7,0 |
| 60° | 62,0 | 61,7 | 0,3 | 0,4 | 60,5 | 1,5 | 2,5 | 62,6 | -0,6 | -0,9 | 58,2 | 3,8 | 6,5 |
| 65° | 41,0 | 43,0 | -2,0 | -4,7 | 42,7 | -1,7 | -4,0 | 44,4 | -3,4 | -7,6 | 41,8 | -0,8 | -1,9 |
| 70° | 28,0 | 30,5 | -2,5 | -8,2 | 30,4 | -2,4 | -7,9 | 32,0 | -4,0 | -12,6 | 29,7 | -1,7 | -5,7 |
| 75° | 18,0 | 20,2 | -2,2 | -10,9 | 20,4 | -2,4 | -11,6 | 21,7 | -3,7 | -16,9 | 19,8 | -1,8 | -9,1 |
| 80° | 10,0 | 11,9 | -1,9 | -16,1 | 12,2 | -2,2 | -17,7 | 13,3 | -3,3 | -24,5 | 11,5 | -1,5 | -13,0 |
| 85° | 3,0 | 5,1 | -2,1 | -40,9 | 5,3 | -2,3 | -43,9 | 6,2 | -3,2 | -51,7 | 4,6 | -1,6 | -34,8 |
| 90° | 0,0 | 0,1 | -0,1 | -100,0 | 0,1 | -0,1 | -100,0 | 0,6 | -0,6 | -100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tab.3.8 Porovnání hodnot pro rovinu C60:

| [cd/klm] | ELKOVO | ETZ - 2,2 | Δ | % | ETZ - 5 | Δ | % | ETZ - 9 | Δ | % | Brno | Δ | % |
|----------|--------|-----------|------|--------|---------|------|--------|---------|------|--------|-------|------|-------|
| 0° | 310,0 | 293,1 | 16,9 | 5,8 | 301,1 | 8,9 | 2,9 | 306,6 | 3,4 | 1,1 | 307,0 | 3,0 | 1,0 |
| 5° | 308,0 | 289,9 | 18,1 | 6,2 | 297,5 | 10,5 | 3,5 | 302,9 | 5,1 | 1,7 | 304,2 | 3,8 | 1,2 |
| 10° | 300,0 | 282,6 | 17,4 | 6,2 | 288,3 | 11,7 | 4,0 | 294,0 | 6,0 | 2,1 | 294,8 | 5,2 | 1,8 |
| 15° | 287,0 | 271,8 | 15,2 | 5,6 | 276,6 | 10,4 | 3,7 | 281,7 | 5,3 | 1,9 | 281,8 | 5,2 | 1,8 |
| 20° | 272,0 | 256,4 | 15,6 | 6,1 | 261,7 | 10,3 | 3,9 | 266,0 | 6,0 | 2,2 | 265,7 | 6,3 | 2,4 |
| 25° | 254,0 | 241,9 | 12,1 | 5,0 | 244,5 | 9,5 | 3,9 | 251,2 | 2,8 | 1,1 | 248,5 | 5,5 | 2,2 |
| 30° | 233,0 | 223,9 | 9,1 | 4,1 | 225,2 | 7,8 | 3,5 | 228,3 | 4,7 | 2,1 | 228,4 | 4,6 | 2,0 |
| 35° | 210,0 | 202,9 | 7,1 | 3,5 | 204,4 | 5,6 | 2,7 | 207,4 | 2,6 | 1,2 | 205,8 | 4,2 | 2,0 |
| 40° | 187,0 | 183,1 | 3,9 | 2,1 | 180,3 | 6,7 | 3,7 | 183,5 | 3,5 | 1,9 | 181,9 | 5,1 | 2,8 |
| 45° | 161,0 | 157,8 | 3,2 | 2,0 | 156,0 | 5,0 | 3,2 | 158,6 | 2,4 | 1,5 | 156,4 | 4,6 | 2,9 |
| 50° | 133,0 | 132,5 | 0,5 | 0,4 | 130,6 | 2,4 | 1,9 | 132,0 | 1,0 | 0,8 | 129,5 | 3,5 | 2,7 |
| 55° | 105,0 | 104,9 | 0,1 | 0,1 | 102,3 | 2,7 | 2,6 | 103,2 | 1,8 | 1,7 | 99,9 | 5,1 | 5,1 |
| 60° | 74,0 | 75,9 | -1,9 | -2,5 | 73,7 | 0,3 | 0,5 | 74,3 | -0,3 | -0,4 | 70,1 | 3,9 | 5,6 |
| 65° | 49,0 | 49,2 | -0,2 | -0,3 | 47,5 | 1,5 | 3,1 | 49,1 | -0,1 | -0,3 | 46,7 | 2,3 | 4,9 |
| 70° | 33,0 | 32,9 | 0,1 | 0,2 | 32,8 | 0,2 | 0,7 | 34,4 | -1,4 | -4,1 | 32,7 | 0,3 | 0,9 |
| 75° | 23,0 | 22,8 | 0,2 | 1,0 | 22,8 | 0,2 | 1,0 | 24,0 | -1,0 | -4,3 | 22,5 | 0,5 | 2,2 |
| 80° | 13,0 | 13,9 | -0,9 | -6,8 | 14,1 | -1,1 | -7,6 | 15,1 | -2,1 | -13,9 | 13,3 | -0,3 | -2,3 |
| 85° | 5,0 | 6,1 | -1,1 | -18,4 | 6,3 | -1,3 | -20,7 | 7,2 | -2,2 | -30,3 | 5,6 | -0,6 | -10,7 |
| 90° | 0,0 | 0,1 | -0,1 | -100,0 | 0,1 | -0,1 | -100,0 | 0,6 | -0,6 | -100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tab.3.9 Porovnání hodnot pro rovinu C90:

| [cd/klm] | ELKOVO | ETZ - 2,2 | Δ | % | ETZ - 5 | Δ | % | ETZ - 9 | Δ | % | Brno | Δ | % |
|----------|--------|-----------|----------|--------|---------|----------|--------|---------|----------|--------|-------|----------|-------|
| 0° | 310,0 | 293,1 | 16,9 | 5,8 | 301,1 | 8,9 | 2,9 | 306,6 | 3,4 | 1,1 | 307,0 | 3,0 | 1,0 |
| 5° | 308,0 | 289,5 | 18,5 | 6,4 | 296,0 | 12,0 | 4,1 | 302,0 | 6,0 | 2,0 | 302,9 | 5,1 | 1,7 |
| 10° | 297,0 | 279,2 | 17,8 | 6,4 | 285,9 | 11,1 | 3,9 | 294,0 | 3,0 | 1,0 | 291,4 | 5,6 | 1,9 |
| 15° | 284,0 | 268,1 | 15,9 | 5,9 | 272,7 | 11,3 | 4,1 | 277,2 | 6,8 | 2,5 | 276,2 | 7,8 | 2,8 |
| 20° | 269,0 | 252,8 | 16,2 | 6,4 | 256,1 | 12,9 | 5,1 | 260,0 | 9,0 | 3,5 | 258,7 | 10,3 | 4,0 |
| 25° | 249,0 | 235,5 | 13,5 | 5,7 | 237,3 | 11,7 | 4,9 | 240,8 | 8,2 | 3,4 | 239,6 | 9,4 | 3,9 |
| 30° | 228,0 | 216,2 | 11,8 | 5,4 | 216,2 | 11,8 | 5,4 | 222,1 | 5,9 | 2,7 | 218,2 | 9,8 | 4,5 |
| 35° | 205,0 | 194,0 | 11,0 | 5,6 | 194,4 | 10,6 | 5,4 | 197,6 | 7,4 | 3,7 | 194,9 | 10,1 | 5,2 |
| 40° | 179,0 | 172,8 | 6,2 | 3,6 | 170,6 | 8,4 | 4,9 | 173,1 | 5,9 | 3,4 | 169,8 | 9,2 | 5,4 |
| 45° | 154,0 | 147,2 | 6,8 | 4,6 | 144,5 | 9,5 | 6,6 | 146,9 | 7,1 | 4,8 | 142,9 | 11,1 | 7,8 |
| 50° | 126,0 | 121,1 | 4,9 | 4,0 | 117,8 | 8,2 | 6,9 | 119,8 | 6,2 | 5,2 | 116,2 | 9,8 | 8,4 |
| 55° | 97,0 | 94,6 | 2,4 | 2,5 | 91,0 | 6,0 | 6,5 | 92,8 | 4,2 | 4,6 | 89,1 | 7,9 | 8,9 |
| 60° | 69,0 | 68,0 | 1,0 | 1,5 | 65,7 | 3,3 | 5,0 | 67,3 | 1,7 | 2,5 | 64,9 | 4,1 | 6,3 |
| 65° | 46,0 | 46,6 | -0,6 | -1,3 | 45,7 | 0,3 | 0,6 | 47,3 | -1,3 | -2,8 | 46,0 | 0,0 | 0,0 |
| 70° | 33,0 | 34,5 | -1,5 | -4,3 | 34,3 | -1,3 | -3,9 | 35,8 | -2,8 | -7,7 | 34,6 | -1,6 | -4,6 |
| 75° | 23,0 | 24,2 | -1,2 | -4,9 | 24,1 | -1,1 | -4,4 | 25,3 | -2,3 | -9,1 | 24,1 | -1,1 | -4,6 |
| 80° | 13,0 | 15,1 | -2,1 | -13,7 | 15,2 | -2,2 | -14,2 | 16,1 | -3,1 | -19,2 | 15,3 | -2,3 | -15,0 |
| 85° | 5,0 | 6,7 | -1,7 | -25,5 | 7,0 | -2,0 | -28,8 | 7,8 | -2,8 | -36,0 | 6,4 | -1,4 | -21,9 |
| 90° | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -100,0 | 0,1 | -0,1 | -100,0 | 0,6 | -0,6 | -100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Z naměřených výsledků vyplývá, že nejbližší hodnoty jsou naměřeny na goniofotometru VUT v Brně. Z hodnot naměřených ve firmě Ing. Vyrtých-ETZ jsou nejbližší hodnoty naměřené ve fotometrické vzdálenosti 9m. Výsledky hodnot naměřených na goniometru v laboratoři firmy ELKOVO ČEPELÍK se mohou lišit od správných hodnot, neboť nebyl úplně přesně znám celkový světelný tok zdrojů. Do výpočetních vztahů se dosazovaly pouze tabulkové hodnoty, které uvádí výrobce pro zahořelé zdroje, a to 1350 lm pro každý zdroj.

Tab.3.10 Porovnání účinnosti svítidla:

| VUT v Brně | ETZ | ELKOVO |
|------------|-------|--------|
| 63,5% | 63,1% | 65,8% |

Hodnoty účinnost ve firmě ELKOVO byla počítána metodou pásmových toků z naměřených křivek svítivosti. Ve firmě ETZ a ve VUT v Brně byly hodnoty získány pomocí měření světelných toků v kulovém integrátoru.

4. Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvořit program, který je schopný ovládat goniofotometr firmy ELKOVO ČEPELÍK, naměřit příslušná data, data zpracovat a jako výsledný produkt vytisknout katalogový list naměřeného svítidla.

Po rozboru možností ovládání a zvolení strategie měření byl vytvořen program, který splňuje požadavky zadavatele:

- Program umožňuje měřit křivky svítivosti podle typu svítidla, které vyrábí firma ELKOVO ČEPELÍK, umožňuje tak měřit svítidla symetrická i asymetrická, přímá i přímo-nepřímá (tzn. svítidla svítící jak směrem dolů tak směrem nahoru).
- Měření se provádí podle zvoleného režimu, a to jednoduché měření, kdy se daná rovina měří pouze jednou (rychlé měření), nebo měření s průměrováním hodnot, kdy se daná rovina měří 2x jedním a druhým směrem a hodnoty v daném místě se průměrují (docílíme kompenzaci vlivu setrvačnosti fotočidla).
- Druh zdroje (zářivky) je možno načíst ze speciálního seznamu zdrojů, který obsahuje program WILS.
- Naměřená data je možno uložit ve dvou formátech, a to ve speciálním formátu pro výpočetní program WILS sloužící k návrhu osvětlení, a v tabulkovém formátu programu Microsoft Excel.
- Naměřená data je možno hned vytisknout, jako katalogový list svítidla
- Program umožňuje otevřít databázi svítidel programu WILS a vytisknout daný katalogový list

Tento program je předem určen výhradně pro firmu ELKOVO ČEPELÍK, protože je vytvořen s ohledem na specifické zařízení ve firmě a je možné ho použít pouze na stejném zařízení.

Pro dosažení ještě většího stupně automatizace měření křivek svítivosti by bylo možno použít další krokový motor pro posun mezi jednotlivými měřenými rovinami a mnohé problémy by vyřešilo zavedení zpětné vazby pro kontrolu polohy motorů nejlépe absolutním čidlem polohy.

Použitá literatura:

- [1] <http://www.efficient-lighting.org>
- [2] <http://www.elkovo-cepelik.cz/teorie/>
- [3] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování, FCC PUBLIC, 1995
- [4] Kocourek, P.: Číslicové měřicí systémy, ČVUT, Praha, 1994
- [5] Habel, J.: Osvětlování, ČVUT, Praha, 1995
- [6] <http://fyzika.feec.vutbr.cz/~petrsad/ekologie/27/27.htm>,
Níček, M.: Konstrukce luxmetrů
- [7] Plch, J.: Světelná technika v praxi, IN-EL, Praha, 1999
- [8] <http://krezac.hyperlinx.cz/robotika/pohony/stepper/stepper.php>,
Krokové motory
- [9] <http://zive.cz/h/Programovani/default.asp?CAI=2091>,
Kadlec, V.: Umíme to s Delphi
- [10] <http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/#introduction>,
Jones, W.: Control of Stepping Motors

Příloha I.

Uživatelská příručka k použití programu Goniofotometru

1. Charakteristika

Aplikace je určena pro měření a ovládání goniofotometru v laboratoři firmy ELKOVO-ČEPELÍK.

Aplikace umožňuje měřit křivky svítivosti v různých rovinách C podle natočení svítidla. Hodí se pro měření svítidel symetrických, asymetrických i s různými typy zdrojů.

Aplikace též dokáže ukládat a načítat svítidla z databáze svítidel programu WILS od firmy ASTRA Zlín.

Aplikace je určena pro počítače platformy PC s operačním systémem Windows.

Minimální požadavky:

- Pentium 100 MHz
- 32MB RAM
- 100MB HDD
- Doporučené rozlišení monitoru 600x800
- Windows 95/98/NT/XP

2. Instalace

Pro správnou funkci je nejprve nutné nainstalovat potřebné počítačové vybavení.

Na měřicím počítači musí být nainstalováno:

- Operační systém Windows nebo Windows NT
- MS Excel
- Ovladač měřicí karty ADC1216A

Instalace měřicí karty ADC1216A:

Ovladač spolu s dalšími soubory pro práci s kartou je možné najít a zkopírovat z internetových stránek výrobce na adrese <http://www.mereni.cz/> na záložce DOWNLOAD. Název souboru je 1216w32.zip. Podrobnosti instalace karty jsou uvedeny v souboru readme.txt .

Postup instalace:

- 1) Nakopírujte dynamické knihovny **TDIA_IO.DLL**, **CW1216.DLL** do adresáře WINDOWS nebo WINNT pokud je jako operační systém použit Windows NT.

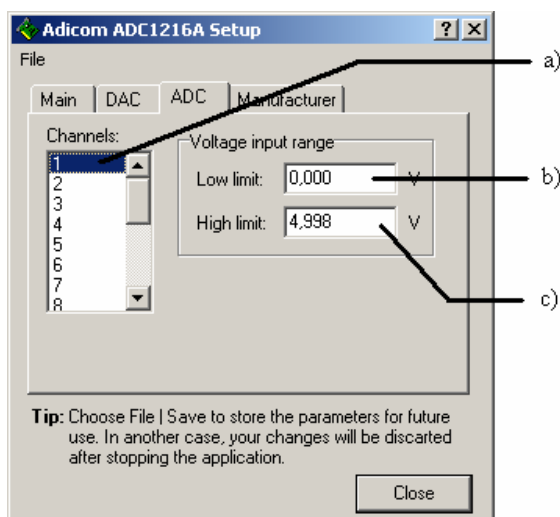


Tyto knihovny jsou nutné v adresáři WINDOWS i pokud bude program používán na počítači kde není měřicí karta nainstalována. Ostatní kroky již potřeba nejsou.

- 2) Pokud používáte operační systém Windows 98/95 nakopírujte soubor **DRVX28.VXD** do adresáře WINDOWS\SYSTEM.
Pokud je použit operační systém Windows NT nakopírujte soubor **DRVX28.SYS** do adresáře WINNT\SYSTEM32\DRIVERS.

- 3) Spustíte soubor **SETUP.EXE** a poté restartujete počítač.
- 4) Zkontrolujte zda jsou správně připojeny konektory CANON k měřicí kartě a zda je zapnutý zdroj napájení zesilovače a převodníku I/U.
- 5) Před prvním měřením je třeba nastavit měřicí kartu. Spustíte soubor **goniofotometr.exe** a vyberte nabídku **měření** a v ní **nastavení měřicí karty**. Pokud je karta správně nainstalovaná objeví se dialogové okno obr1. V tomto dialogovém okně je nutné vybrat záložku ADC kde se nastavují limitující úrovně napětí jednotlivých vstupních kanálů A/D převodníku. Pro naše účely stačí nastavit kanál číslo 1 znázorněný na obr.1 a). Hodnoty nastavení jsou v následující tabulce. Nastavené hodnoty je pak nutné uložit pomocí nabídky **file – save**

| | |
|-------------------------|-------|
| Dolní limit na obr.1 b) | 0,000 |
| Horní limit na obr.1 c) | 4,998 |



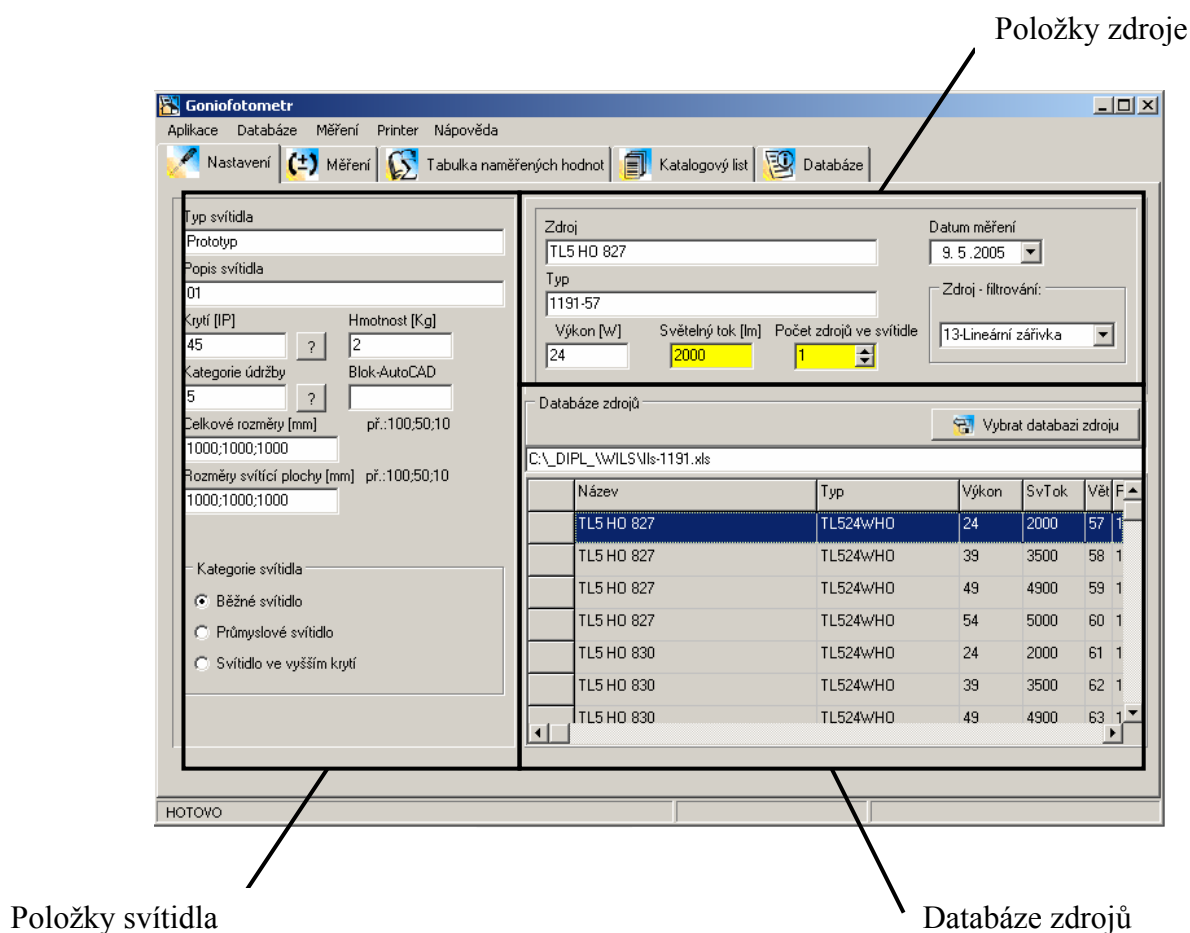
obr.1 - Dialogové okno nastavení měřicí karty:

3. Návod k použití programu

Uživatelská aplikace se spouští souborem **goniofotometr.exe** nebo **aplikace1.exe**. Spolu s tímto spustitelným souborem musí být uložen ve stejném adresáři také soubor ikony **goniofotometr.ico** a bitmapový obrázek loga firmy **logo_cepelik.bmp**.

Záložka NASTAVENÍ

Před vlastním měřením je třeba vyplnit údaje o svítidle a zdroji, který je ve svítidle použit. Tyto údaje se nacházejí v záložce *Nastavení* viz. obr 2.



obr.2 – Záložka NASTAVENÍ

Položky svítidla:

Název svítidla a *Typ svítidla* jsou položky textové, které popisují dané svítidlo. U těchto položek je možné použít jakýkoli znak z klávesnice.

Krytí – položka, která udává dvěma čísly, krytí svítidla proti prachu a proti vodě podle ČSN. Do této položky se mohou zapisovat pouze dva znaky a to pouze čísla. Vedle editačního pole krytí je možno stisknout pole s otazníkem, které umožní nahlédnout do seznamu možných čísel.

Hmotnost – položka, která je nepovinná z hlediska programu WILS, proto je možné tuto položku nevyplňovat. Program, ale při ukládání upozorní na to, že nejsou vyplněné všechny položky !

Kategorie údržby – Udává pomocí jedné číslice kategorii údržby. Význam číslic je možné zjistit stisknutím tlačítka otazník vedle editačního pole.

Celkové rozměry – Tato položka udává celkové rozměry svítidla v milimetrech. Zadávají se zde tři číselné údaje oddělené středníkem. Středníky musí být dva mezi jednotlivými čísly. Při jiném počtu středníků program nahlásí chybu. Stejně je to u položky *Rozměry svítící plochy* a podobné u položky *Úhly clonění* kde se zadávají pouze dvě hodnoty a jen jeden středník.

Blok AutoCAD – Tato položka je také nepovinná. Udává speciálním kódem ikonu použitou v programu AutoCAD.

Položky zdroje:

Zdroj a *Typ zdroje* jsou položky textové, které popisují daný zdroj. U těchto položek je možné použít jakýkoli znak z klávesnice.

Výkon – položka udávající výkon jednoho zdroje ve Watech. Zde je možné zadávat pouze celá čísla.

Světelný tok – položka udávající světelný tok jednoho zdroje v jednotkách Lumen.

Počet zdrojů ve svítidle – Nakonec je nutné zadat počet zdrojů použitých ve svítidle.



Položky označené žlutě jsou nutné pro výpočty při měření, proto musí být vždy vyplněny. Jsou to položky Světelný tok zdroje a počet zdrojů ve svítidle.

Výše popsané položky zdroje je možné vybírat též z databáze zdrojů. Databáze zdrojů se načte do tabulky pomocí tlačítka **Vybrat databázi zdrojů** viz. obr. 2. Pohybem kurzoru v tabulce se mění příslušné údaje zdroje za údaje o zdroji, který je právě označen kurzorem. Pomocí filtru je možné si vybrat pouze ten typ zdroje, který nás zajímá a to v části **Zdroj – filtrování**.

Záložka MĚŘENÍ

Tato záložka slouží k měření jednotlivých křivek svítivosti a k ovládání goniofotometru. Před měření je však nutné dbát na správné nastavení všech ovládacích prvků v této záložce. Záložka je zobrazena na obr.3.

Část 1. Zaškrťovací pole

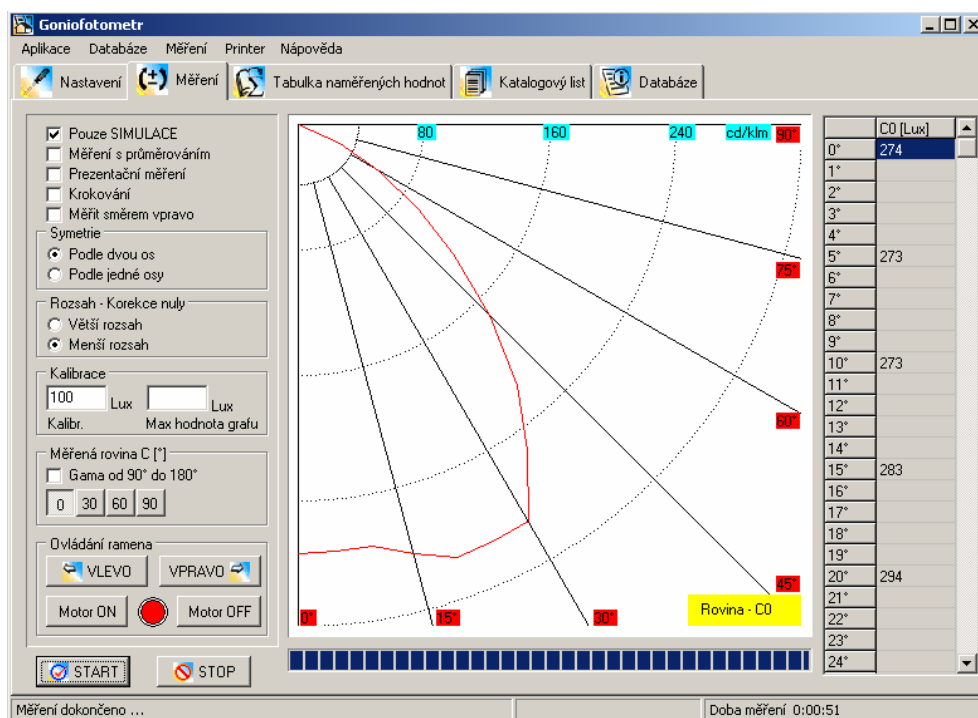
V této části je sada zaškrťovacích polí, které určují druh měření.

Pouze simulace – Při zvolení měření tohoto typu se vyruší všechny další nastavení.

Výsledkem měření je simulace skutečného měření. Vlastně je to prezentace programu a měření, tam kde není na počítači přítomna měřicí karta.

Měření s průměrováním – Toto měření se skládá ze dvou částí. Měření 0-90° a následně zpět 90-0° kdy se hodnoty pro daný úhel průměrují, aby se co nejvíce snížil vliv setrvačnosti fotočlásku.

Prezentační měření – Zde je měření zobrazováno ve speciálním okně, kde jsou vidět podrobné detaily měření včetně napětí na převodníku, hodnoty osvětlenosti, hodnoty svítivosti apod. Toto speciální okno je možné zavřít během měření pokud již není potřeba klávesou ESC. Vše je pak zobrazeno obvyklým způsobem jaký je na obr.3.



obr.3 – Záložka MĚŘENÍ

Krokování – Toto měření je ještě závislé na tom, jestli je motor zapnutý či nikoli.

- Pokud je motor vypnutý může obsluha volně hýbat ramenem.
Měření se provede po stisku tlačítka *START*. V dalším kroku je obsluha vyzvána k pokračování či k ukončení krokování.
- Při zapnutém motoru je po stisku *START* provedeno měření a k tomu ještě posunuto rameno a obsluha je opět vyzvána buď k ukončení či pokračování měření v krokování.

Měřit směrem vpravo – Po startu měření se neotáčí rameno obvyklým směrem vlevo, ale směrem opačným.

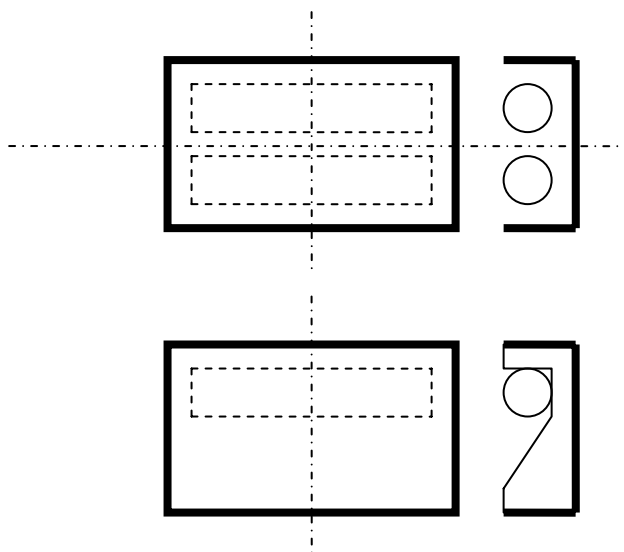


Směr vlevo či vpravo je dán z pohledu obsluhy, která se dívá směrem ke goniofotometru.

Část 2. Symetrie

Tato volba umožňuje zmenšit počet měřených křivek na minimum podle symetrie.

Na obr.4 je vidět typ symetrie podle jedné osy a podle dvou os.



obr.4 – Symetrie svítidel

Část 3. Měřicí rozsah

Zde se nastavuje měřicí rozsah, který je zvolený na převodníku I/U. Rozpojené kontakty převodníku znamenají menší zesílení signálu z čidla na převodníku a tím *větší rozsah* zvolený v aplikaci a spojené kontakty převodníku znamenají větší zesílení signálu a *menší rozsah* zvolený v aplikaci.

Část 4. Kalibrace

Před počátkem měření první křivky svítivosti je nutné provést kalibraci měřícího řetězce. Kalibrační hodnota je hodnota osvětlení ve vzdálenosti ramene goniofotometru pod úhlem 0°. Hodnota se udává v Luxech a může být zadána i jako

desetinné číslo kde jako oddělovač se používá desetinná čárka. Kalibrace se může provést před měřením každé jednotlivé křivky svítivosti, ale v podstatě by se tato hodnota, pokud je svítidlo ve svém fotometrickém středu, neměla měnit.

Změna kalibrační hodnoty během měření nebude mít na měření žádný vliv.



Na přesnosti kalibrace je závislá přesnost celého měření, proto je třeba věnovat kalibrační hodnotě dostatek pozornosti.

Max. hodnota grafu - je hodnota, která udává na jaké maximální úrovni se bude pohybovat hodnota osvětlení při měření dané křivky svítivosti. Podle této hodnoty se upravuje měřítko grafu na počátku měření, proto nemá význam měnit tuto hodnotu během probíhajícího měření. Pokud tato hodnota zůstane nevyplněna bere se jako maximální hodnota velikost hodnoty kalibrace.



Nesprávné zadání může způsobit, že křivka svítivosti nebude v grafu správně znázorněna, tj. může dojít k přetečení grafu.

Část 5. Měřená rovina

Stisknutím příslušného tlačítka s označením roviny se vybere rovina, ve které bude právě probíhat měření. Tzn. měřená data se budou ukládat do tabulky naměřených hodnot právě pod sloupec s tímto označením.

Zaškrtačací políčko od 90-180° - při zaškrtnutí tohoto políčka jsou měřeny hodnoty svítidla, které svítí nahoru. Čili úhel γ se pohybuje od 90 do 180°. Tyto hodnoty jsou pak zapisovány do tabulky naměřených hodnot pod rovinou, která je vybrána na přepínači v části 5.

Část 6. Ovládání krokového motoru a ramene

Motor ON – Toto tlačítko v táhne rotor krokového motoru do magnetismu. Je dobré počkat až se rameno ustálí ve stabilní poloze. Dále již je možné krokovat motorem.

Motor OFF – Toto tlačítko shodí všechny cívky motoru. Ramenem goniofotometru je v tomto stavu možné volně hýbat.



Mezi těmito tlačítky je umístěný zobrazovač stavu motoru. Pokud svítí červeně motor je ve stavu OFF pokud zeleně motor je ve stavu ON.

Vlevo – Tlačítko pohybuje po krocích motorem směrem vlevo, pouze pokud je motor ve stavu ON.

Vpravo – Tlačítko pohybuje po krocích motorem směrem vpravo, pouze pokud je motor ve stavu ON.

Část 7. Měření

START – Tlačítko spustí měření nastavené podle předchozích nabídek

STOP – Přeruší prováděné měření.



Stejnou funkci přerušení má i tlačítko ESC na klávesnici.

Záložka TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT

Na této záložce jsou zobrazena v přehledné tabulce všechna naměřená data. Data v této tabulce je možné pokud je to nutné ručně editovat a to tak, že se dvakrát poklepe na žádanou buňku (hodnoty zadávej pouze jako celá čísla !). Data je možné uložit nebo např. vypočítat účinnost měřeného svítidla. Záložka je zobrazena na obr.3.

Vypočítej účinnost – Tlačítko, které podle volby vypočítá účinnost měřeného svítidla metodou pásmových toků. Volba umožňuje počítat účinnost po kroku 5 nebo 1°. Pokud již účinnost známá, např. počítaná jinou metodou, je též možné účinnost svítidla zadat ručně, a to až s přesností dvou desetinných míst.

Z hlediska programu WILS je tato položka nepovinná.



Účinnost je možné vypočítat až po naměření potřebných křivek svítivosti. U symetrických svítidel jsou to čtyři roviny u asymetrických svítidel sedm.

DATABÁZE – Tlačítko, které uloží naměřené svítidlo do zvolené databáze programu WILS.

***.XLS** – Tlačítko, které uloží naměřené hodnoty jako tabulku programu MS Excel.

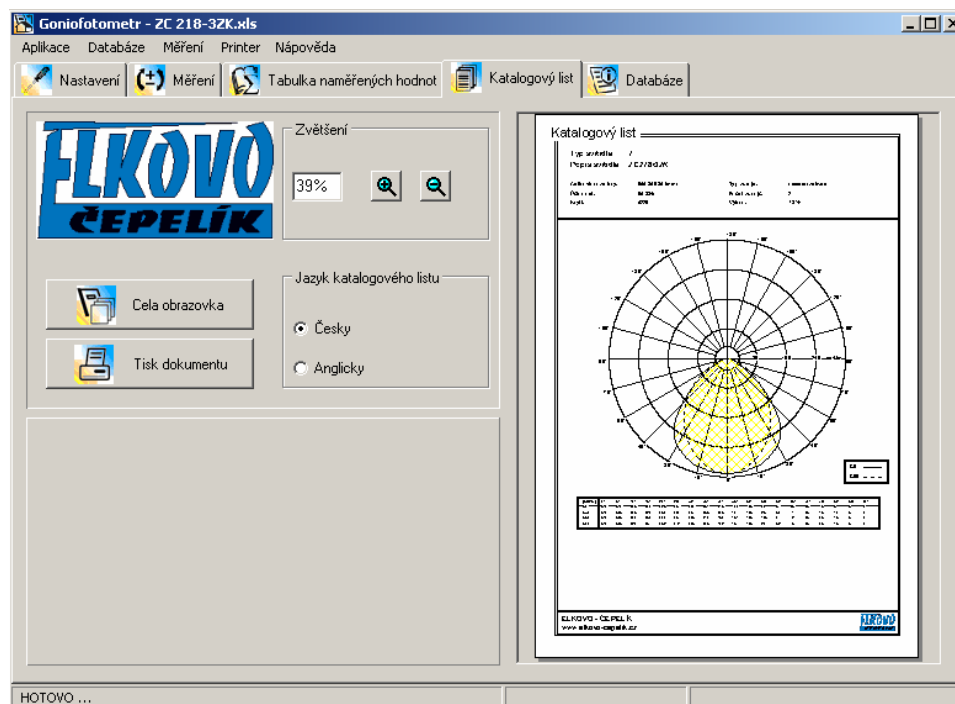
| [cd/klm] | C0 | C30 | C60 | C90 | | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
| 0° | 310 | 310 | 310 | 310 | | | |
| 1° | 310 | 310 | 310 | 310 | | | |
| 2° | 310 | 310 | 310 | 310 | | | |
| 3° | 310 | 310 | 310 | 308 | | | |
| 4° | 310 | 308 | 308 | 308 | | | |
| 5° | 310 | 308 | 308 | 308 | | | |
| 6° | 308 | 308 | 305 | 305 | | | |
| 7° | 310 | 308 | 305 | 305 | | | |
| 8° | 308 | 305 | 302 | 302 | | | |
| 9° | 308 | 305 | 302 | 300 | | | |
| 10° | 308 | 305 | 300 | 297 | | | |
| 11° | 305 | 302 | 297 | 297 | | | |
| 12° | 305 | 302 | 295 | 292 | | | |
| 13° | 305 | 300 | 292 | 290 | | | |
| 14° | 302 | 297 | 290 | 287 | | | |
| 15° | 302 | 297 | 287 | 284 | | | |
| 16° | 302 | 295 | 284 | 282 | | | |
| 17° | 300 | 292 | 282 | 279 | | | |
| 18° | 300 | 292 | 279 | 274 | | | |
| 19° | 297 | 287 | 274 | 272 | | | |
| 20° | 295 | 287 | 272 | 269 | | | |
| 21° | 292 | 282 | 269 | 264 | | | |
| 22° | 292 | 282 | 267 | 261 | | | |
| 23° | 290 | 277 | 261 | 256 | | | |

obr.4 – Záložka TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT

Záložka KATALOGOVÝ LIST

Tato záložka po naměření všech nutných rovin svítidla zobrazí katalogový list. Zobrazit a tisknout katalogový list je možné ve dvou jazycích a to v ČESKÉM a ANGLICKÉM. Záložka je zobrazena na obr.5.

Zvětšení – Umožňuje zobrazit detaily katalogového listu. Též je možné do editačního pole zadat v jaké velikosti v procentech chceme náhled zobrazit. Do editačního pole se zadává pouze číslo nikoli znak procenta !



obr.5 – Záložka KATALOGOVÝ LIST

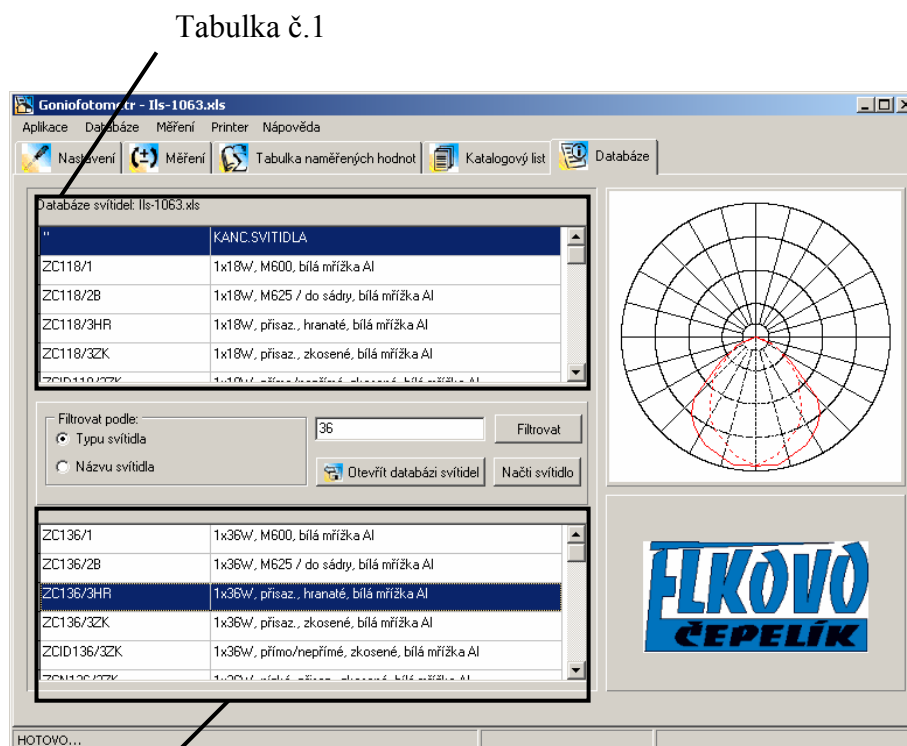
Jazyk katalogového listu – Při výběru se změní jazyk katalogového listu z českého jazyka do anglického nebo opačně.

Celá obrazovka – Po stisku tlačítka se náhled zobrazí na celou obrazovku.

Tisk dokumentu – Po stisku tlačítka se nahlížený katalogový list vytiskne.

Záložka DATABÁZE

Tato záložka je vytvořena pro načítání svítidel, které jsou již uložena v databázi. Při načtení jsou hodnoty svítivosti vloženy do **tabulky naměřených hodnot** jakoby to bylo právě měřené svítidlo a stejně tak i název, popis, údaje o zdroji apod. Obrázek záložky je zobrazen na obr.6.



obr.6 – Záložka DATABÁZE

Tabulka č.2

Otevřít databázi svítidel – Po stisku tohoto tlačítka jsou načtena svítidla obsažená v databázi do tabulky č.1.

Filtrovat – Stiskem tohoto tlačítka jsou filtrována do tabulky č.2 svítidla, která obsahují sled znaků zapsaných v editačním poli buď v názvu nebo v typu podle filtrační volby.

Načti svítidlo – Stiskem tohoto tlačítka je načteno poslední svítidlo označené kurzorem v tabulce č.1 nebo č.2. Označené svítidlo je načteno do tabulky naměřených hodnot a je zobrazen náhled hlavních křivek svítivosti.